FINITO DI STAMPARE
IL 31 MARZO 1949
NELLA TIPOGRAFIA L'IMPRONTA S. p. A.
VIA FAENZA 54 FIRENZE

19770

cout. A. 352. 1.

E.P.

BIBLIOTECA SCIENTIFICA

II.

# POINCARÉ

# POINCARÉ

CON INTRODUZIONE DI

*FRANCESCO SEVERI*

L'ARCO – FIRENZE

PROPRIETÀ LETTERARIA RISERVATA
L'ARCO — FIRENZE

*Stampato in Italia*

## IL VALORE DELLA SCIENZA (1)

La ricerca della verità deve essere lo scopo della nostra attività; è questo il solo fine degno di lei.

Senza dubbio dobbiamo innanzi tutto cercare di alleviare le sofferenze umane, ma perché? Non soffrire è un ideale negativo che sarebbe più sicuramente raggiunto con l'annientamento del mondo. Se noi vogliamo sempre più affrancare l'uomo dalle preoccupazioni materiali, è perché egli possa impiegare la libertà così riconquistata nello studio e nella contemplazione della verità.

Ciò nonostante qualche volta la verità ci spaventa. E infatti, noi sappiamo che qualche volta essa è sconcertante, che è un fantasma che si mostra a noi un istante per sfuggirci continuamente, che bisogna inseguirla sempre più lontano senza poterla mai raggiungere. Ma per agire bisogna fermarsi, come ha detto un greco, non so più quale, Aristotile o un altro. Sappiamo anche come essa è spesso crudele, e ci domandiamo se l'illusione non sia più consolante, non solo, ma anche più fortificante; giacché è essa, l'illusione, che ci dà la fiducia.

Quando l'illusione sarà scomparsa ci resterà ancora la speranza, e avremo ancora il coraggio di agire? Un cavallo attaccato ad un maneggio rifiuterebbe certamente di camminare se non si prendesse la precauzione di bendargli gli occhi.

---

(1) Da *La Valeur de la Science*, Paris 1925, Introduzione, pp. 1 a 10.

E poi, per cercare la verità bisogna essere indipendenti, completamente indipendenti. Al contrario se vogliamo agire, e se vogliamo essere forti, dobbiamo essere uniti.

Ecco perché molti fra noi si spaventano della verità; essi la considerano come una causa di debolezza. Eppure non bisogna aver paura della verità, perchè essa sola è bella.

Senza dubbio quando parlo della verità voglio anzitutto parlare della verità scientifica; ma voglio anche parlare della verità morale, della quale ciò che chiamiamo giustizia non è che un aspetto. Può sembrare che io abusi delle parole e che riunisca così sotto uno stesso nome due oggetti che non hanno nulla di comune; ché la verità scientifica, la quale può essere dimostrata, non può a nessun titolo essere avvicinata alla verità morale, che è soltanto sentita.

Eppure io non posso separare l'una dall'altra e coloro che amano l'una non possono non amar l'altra. Per trovare l'una come per trovare l'altra bisogna sforzarsi di affrancare completamente il proprio animo dai pregiudizi e dalle passioni, bisogna arrivare alla sincerità assoluta. Una volta scoperte, queste due specie di verità ci procurano la stessa gioia; tanto l'una che l'altra, appena scorte, brillano dello stesso splendore, di modo che è necessario vederle o chiudere gli occhi. Tutte e due infine ci attirano e ci fuggono; esse non sono mai fisse: quando crediamo di averle raggiunte, ci accorgiamo di dover camminare ancora, e colui che le insegue è condannato a non conoscere il riposo.

Bisogna aggiungere che coloro che hanno paura dell'una hanno anche paura dell'altra; e sono coloro che in ogni cosa si preoccupano anzitutto delle conseguenze. In una parola io avvicino le due verità perché sono le stesse ragioni che ce le fanno amare e perché sono le stesse ragioni che ce le fanno temere.

Se non dobbiamo aver paura della verità morale, a maggior ragione non dobbiamo temere la verità scientifica. E d'altronde questa non può essere in conflitto con la morale. La morale e la scienza hanno i loro proprii dominii che si toccano

ma non si compenetrano. L'una ci mostra a qual fine dobbiamo tendere, l'altra, dato il fine, ci fa conoscere i mezzi per raggiungerlo.

Esse non possono dunque mai contrastare perché esse non possono incontrarsi. Non ci può essere scienza immorale, così come non ci può essere morale scientifica.

Ma se si ha paura della scienza è soprattutto perché essa non può darci la felicità. No, evidentemente essa non può darci la felicità, e possiamo domandarci se la bestia non soffra meno dell'uomo. Ma possiamo noi rimpiangere quel paradiso terrestre nel quale l'uomo simile al bruto era veramente immortale perché non sapeva di dover morire? Quando s'è assaggiato il pomo nessuna sofferenza può farcene dimenticare il sapore e si torna sempre ad assaggiarlo. E potremmo fare altrimenti? Tanto varrebbe chiedere di non sentire la nostalgia della luce a colui che è accecato dopo averla veduta. E così l'uomo non può essere felice per opera della scienza, ma oggi senza di essa lo potrebbe essere ancora meno.

Ma se la verità è il solo fine che deve essere perseguito, possiamo noi sperare di raggiungerla?

Di questo è permesso dubitare. I lettori del mio libro *La Science et l'Hypothèse* sanno già che cosa penso a questo proposito. La verità che ci è permesso di intravedere non è esattamente ciò che la maggior parte degli uomini chiama con quel nome. Questo vuol forse dire che la nostra più legittima e più imperiosa aspirazione è anche la più vana? Ovvero: possiamo malgrado tutto avvicinarci da qualche lato alla verità? Questo conviene esaminare.

E anzitutto di quale strumento disponiamo noi per questa conquista? L'intelligenza dell'uomo, e per limitarci, l'intelligenza dello scienziato non è essa suscettibile di infinita varietà? Si potrebbero scrivere dei volumi su questo soggetto senza perciò esaurirlo; e io non ho fatto che sfiorarlo in brevi pagine. Che lo spirito del matematico somigli poco a quello del fisico o a quello del naturalista, tutti ne converranno; ma gli stessi

matematici non si somigliano fra loro. Gli uni non conoscono che la logica implacabile, gli altri fanno appello alla intuizione e vedono in essa la sorgente unica della scoperta. E questa sarebbe già una ragione di diffidenza. A spiriti così diversi potranno gli stessi teoremi matematici apparire sotto la stessa luce? La verità che non è la stessa per tutti è veramente la verità? Ma guardando le cose più da vicino vediamo come questi operai, sì diversi fra loro, collaborano a un'opera comune che non potrebbe compiersi senza il concorso di tutti loro. E questo già ci rassicura.

Bisogna in seguito esaminare quei quadri nei quali la natura ci sembra racchiusa e che noi chiamiamo il tempo e lo spazio. In *Science et Hypothèse* ho già mostrato come il loro valore è relativo: non è la natura che ce li impone ma siamo noi che li imponiamo alla natura perché li troviamo comodi; ma non ho parlato che dello spazio e soprattutto dello spazio per così dire « quantitativo », cioè a dire delle relazioni matematiche il cui insieme costituisce la geometria.

Era necessario mostrare che lo stesso è del tempo come dello spazio e che è anche lo stesso dello « spazio qualitativo »; bisognava in particolare ricercare il perché noi attribuiamo tre dimensioni allo spazio. Mi si perdonerà dunque d'esser tornato ancora una volta su queste importanti questioni.

L'analisi matematica di cui il principale oggetto è lo studio di quei quadri vuoti, sarebbe forse un vano gioco dello spirito? Essa non può dare al fisico che un comodo linguaggio; e non è questo forse un mediocre servigio di cui a rigor di termini avremmo potuto fare a meno? E ancora: non c'è da temere che codesto linguaggio artificiale sia un velo interposto fra l'occhio del fisico e la realtà? Nemmen per sogno. Lungi da ciò, senza quel linguaggio la maggior parte delle analogie intime fra le cose ci sarebbe rimasta sconosciuta per sempre; e avremmo sempre ignorato l'armonia interna del mondo, che è, lo vedremo, la sola vera realtà oggettiva.

La migliore espressione di quella armonia è la Legge e la

Legge è una delle più recenti conquiste dello spirito umano. Ci sono ancora dei popoli che vivono in un continuo miracolo e non se ne meravigliano. Saremmo noi invece che dovremmo meravigliarci della regolarità della natura. Gli uomini domandano ai loro dei di provare con i miracoli la loro esistenza; ma la meraviglia eterna è che non vi sieno continuamente miracoli. Ed è per questo che il mondo è divino, poiché è per questo che è armonioso. Se fosse retto dal capriccio chi ci proverebbe che non è retto dal caso?

Questa conquista della Legge la dobbiamo all'Astronomia ed è ciò che costituisce la grandezza di quella scienza, ancora più della grandezza materiale degli oggetti che essa considera.

Era dunque più che naturale che la Meccanica Celeste fosse il primo modello della Fisica Matematica; ma da allora questa scienza ha evoluto ed evolve ancora, anzi evolve rapidamente. Tanto che è già necessario modificare su alcuni punti il quadro che io tracciai nel 1900 e da cui ho tratto due capitoli della *Science et Hypothèse*. In una conferenza che feci nel 1904 a Saint-Louis ho cercato di misurare il cammino percorso. Il lettore vedrà in seguito quale fu il resultato di tale inchiesta.

È sembrato che i progressi della Scienza abbiano messo in pericolo i principii meglio stabiliti; quelli stessi che erano considerati come fondamentali. Ciononostante nulla prova che non arriveremo a salvarli; e se non vi riusciremo che imperfettamente, ebbene essi sussisteranno ancora per quanto trasformati. Non bisogna paragonare il cammino della Scienza alle trasformazioni di una città in cui gli edifici invecchiati sono spietatamente abbattuti per far posto alle nuove costruzioni, ma alla evoluzione continua dei tipi zoologici che si sviluppano incessantemente e finiscono col divenire irriconoscibili agli sguardi volgari ma in cui un occhio esercitato ritrova sempre le traccie del lavoro anteriore dei secoli passati. Non bisogna dunque credere che le teorie passate di moda sieno state sterili e vane.

Se ci fermassimo qui, noi troveremmo in queste pagine varie ragioni per aver fiducia nel valore della Scienza, ma anche

delle ragioni ancor più numerose per diffidarne; ci resterebbe un'impressione di dubbio; bisogna ora rimettere le cose a posto.

Qualcuno ha esagerato l'importanza della convenzione nella Scienza; c'è chi è arrivato fino a dire che la Legge, che il fatto scientifico stesso erano creati dallo scienziato. È questo un andar troppo lontano nella via del nominalismo. No, le leggi scientifiche non sono delle creazioni artificiali; non abbiamo nessuna ragione per considerarle come contingenti, per quanto ci sia impossibile dimostrare che non lo sono.

Quella armonia che l'intelligenza umana crede scoprire nella natura esiste al di fuori di questa intelligenza? No, senza dubbio; una realtà completamente indipendente dallo spirito che la concepisce la vede o la sente è una impossibilità. Un mondo così esteriore, anche se esistesse, ci sarebbe sempre inaccessibile. Ma ciò che chiamiamo realtà oggettiva è, in ultima analisi, ciò che è comune a molti esseri pensanti e potrebbe essere comune a tutti; quella parte comune, noi lo vedremo, non può essere che l'armonia espressa delle leggi matematiche.

È dunque quella armonia che è la sola realtà oggettiva, la sola verità che noi possiamo raggiungere. E se si aggiunge che l'armonia universale del mondo è la sorgente d'ogni bellezza, si capirà qual prezzo dobbiamo assegnare ai tanti e penosi progressi che ce la fanno a poco a poco conoscer meglio.

# OGGETTIVITÀ DELLA SCIENZA (1)

Qual'è il valore oggettivo della scienza? E anzitutto, che cosa dobbiamo intendere per obiettività?

Ciò che ci garantisce la obiettività del mondo nel quale viviamo, è che questo mondo lo abbiamo in comune con altri esseri pensanti. Attraverso le comunicazioni che noi abbiamo con gli altri uomini, noi riceviamo da loro dei ragionamenti già fatti; sappiamo che quei ragionamenti non ci vengono da noi stessi e nello stesso tempo riconosciamo in loro l'opera di esseri ragionevoli come noi. E siccome quei ragionamenti sembrano applicarsi al mondo delle nostre sensazioni, crediamo di poter concludere che quegli esseri ragionevoli hanno veduto la stessa cosa che abbiamo veduto noi; ed è così che sappiamo di non aver sognato.

Tale è dunque la prima condizione della obiettività: ciò che è oggettivo deve essere comune a più spiriti, e per conseguenza poter essere trasmesso dall'uno all'altro; e siccome questa trasmissione non può esser fatta altrimenti che con quel « discorso » che ispira tanta diffidenza al Le Roy, noi siamo costretti a concludere: niente discorso, niente obiettività.

Le sensazioni degli altri saranno per noi un mondo eternamente chiuso. La sensazione di ciò che io chiamo rosso è la

(1) Da *La Valeur de la Science*, ed. cit., pp. 261 a 276.



BIBLIOTECA GIORGI UNIVERSITÀ DI ROMA

stessa di quella che il mio vicino chiama rosso? Non abbiamo alcun modo per verificarlo.

Supponiamo che una ciliegia e un papavero producano su di me la sensazione A e sul mio vicino la sensazione B e che al contrario una foglia verde produca su me la sensazione B e su lui la sensazione A. È chiaro che noi non ne sapremo mai nulla; giacché io chiamerò rosso la sensazione A e verde la sensazione B, mentre lui chiamerà la prima verde e la seconda rosso. In compenso ciò che potremo constatare è che per lui come per me la ciliegia e il papavero producono *la stessa* sensazione, giacché egli dà lo stesso nome alle sensazioni che prova e io faccio altrettanto.

Le sensazioni sono dunque intrasmissibili o piuttosto tutto ciò che in esse è qualità pura è intrasmissibile e per sempre impenetrabile. Ma non è lo stesso delle relazioni fra le sensazioni.

Da questo punto di vista tutto ciò che è obiettivo è sprovvisto di ogni qualità e non è che relazione pura. Certo non arriverò a dire che l'oggettività è solo quantità pura (ciò equivarrebbe a particolareggiare troppo la natura delle relazioni in questione) ma si capisce che qualcheduno, non ricordo più chi, si sia lasciato andare ad affermare che il mondo non è che una equazione differenziale.

Pur facendo delle riserve su questa proposizione paradossale noi dobbiamo tuttavia ammettere che nulla è obiettivo che non sia trasmissibile, e che per conseguenza le relazioni fra le sensazioni possono — soltanto esse — avere un valore obiettivo.

Forse si dirà che l'emozione estetica che è comune a tutti gli uomini è la prova che le qualità delle nostre sensazioni sono anche le stesse per tutti gli uomini e quindi sono oggettive. Ma se si riflette si vede che la prova non è raggiunta; ciò che è provato è che quella emozione è provocata in Giovanni e in Pietro dalle stesse sensazioni alle quali tanto Giovanni che Pietro danno lo stesso nome o dalle corrispondenti combinazioni di quelle sensazioni; ovvero che quella emozione è associata in

Giovanni alla sensazione A, che Giovanni chiama rosso, mentre essa è parallelamente associata in Pietro alla sensazione B, che Pietro chiama rosso; o meglio ancora, che quella emozione è provocata non dalle qualità stesse delle sensazioni ma dalla armoniosa combinazione delle loro relazioni di cui subiamo l'impressione incosciente.

Tale sensazione è bella, non perché essa possiede quella tal qualità, ma perché essa occupa quel tal posto nella trama della nostra associazione d'idee, di modo che non si può eccitarla se non mettendo in movimento il « ricevitore » che è all'altro capo del filo e che corrisponde alla emozione artistica.

Che ci si ponga dal punto di vista morale, estetico o scientifico, è sempre lo stesso. Nulla è obiettivo se non ciò che è identico per tutti; ma si può parlare di una simile identità solo quando è possibile una comparazione e quando questa può essere tradotta in una « moneta di scambio » che possa trasmettersi da uno spirito all'altro. Nulla dunque avrà valore obiettivo se non ciò che sarà trasmissibile con un « discorso », che è quanto dire intelligibile.

Ma questo non è che un lato della questione. Un insieme assolutamente disordinato non potrebbe avere nessun valore obiettivo perché sarebbe inintelligibile, ma un insieme ben ordinato può anche non averne alcuno se non corrisponde a sensazioni effettivamente provate. Mi sembra superfluo ricordare questa condizione e non vi avrei pensato se da qualcuno non fosse stato sostenuto ultimamente che la fisica non è una scienza sperimentale. Quantunque questa opinione non abbia alcuna probabilità di essere sostenuta né dai fisici né dai filosofi, è bene esserne informati per evitare di scivolare lungo la china alla quale ci condurrebbe. Bisogna dunque rispondere a due condizioni, e se la prima separa la realtà dal sogno, la seconda distingue la realtà dal romanzo.

Adopero qui la parola reale come sinonimo di oggettivo; mi conformo così all'uso comune e forse ho torto: i nostri sogni sono reali ma non sono oggettivi.

E ora: che cos'è la scienza? È innanzi tutto una classificazione, un modo di avvicinare dei fatti che le apparenze separavano, nonostante che fossero legati da qualche parentela naturale e nascosta. La scienza, in altri termini, è un sistema di relazioni. Ora, l'abbiamo detto adesso, è solo nelle relazioni che l'obiettività deve essere cercata; sarebbe vano cercarla in esseri considerati staccati gli uni dagli altri.

Dire che la scienza non può avere valore oggettivo perché non ci fa conoscere che dei rapporti è un ragionare a ritroso, giacché precisamente sono soltanto i rapporti che possono essere considerati come oggettivi.

Gli oggetti esteriori, per esempio, per i quali la parola *oggetto* è stata inventata, sono appunto degli *oggetti* e non delle apparenze fuggevoli e inafferrabili, perché non sono soltanto gruppi di sensazioni, ma perché sono gruppi di sensazioni cementati da un legame costante. È proprio quel legame, e quel legame soltanto, che è oggetto in essi; e quel legame è un rapporto.

Dunque quando noi domandiamo qual'è il valore oggettivo della scienza, questo non vuol dire: la scienza ci fa conoscere la vera natura delle cose? Ma vuol dire: ci fa essa conoscere i veri rapporti fra le cose?

Alla prima domanda nessuno esiterebbe a rispondere di no; ma io credo che si possa andare più in là: non solo la scienza non può farci conoscere la natura delle cose, ma nulla è capace di farcela conoscere; e se qualche Dio la conoscesse, non potrebbe trovare le parole per esprimerla. Non soltanto noi non possiamo indovinare la risposta, ma se quella risposta ci fosse data noi non capiremmo nulla. Io mi domando perfino se noi intendiamo bene la domanda.

Dunque quando una teoria scientifica pretende di farci conoscere che cos'è il calore, o che cos'è la elettricità, o che cos'è la vita, essa è condannata in anticipo.

Tutto ciò che essa ci può dare non è che una immagine grossolana. Essa è dunque provvisoria e caduca.

La prima domanda essendo fuori causa, resta la seconda. La scienza può farci conoscere i veri rapporti fra le cose? Ciò che essa avvicina dovrebbe essere separato, ciò che essa separa dovrebbe essere avvicinato?

Per capire il senso di questa nuova domanda, bisogna riportarsi a ciò che più sopra abbiamo detto sulle condizioni della oggettività. Quei rapporti hanno essi un valore obiettivo? E questo vuol dire: quei rapporti sono gli stessi per tutti? Saranno essi gli stessi anche per coloro che verranno dopo di noi?

È chiaro che quei rapporti non sono gli stessi per lo scienziato e per l'ignorante. Ma poco importa, giacché se l'ignorante non li vede subito, lo scienziato può arrivare a farglieli vedere con una serie di esperienze e di ragionamenti. L'essenziale è che ci sieno dei punti nei quali tutti quelli che sono al corrente delle esperienze fatte possano mettersi d'accordo.

L'importante è di sapere se questo accordo sarà durevole, se persisterà presso i nostri successori. Ci si può domandare se gli avvicinamenti che fa oggi la scienza, saranno confermati dalla scienza di domani. Per affermare che questo avverrà non si può invocare nessuna ragione a priori; ma è una questione di fatto e la scienza ha già abbastanza vissuto perché si possa, interrogando la sua storia, sapere se gli edifici che essa eleva resistono alla prova del tempo o se non sono che costruzioni effimere.

Ora, che cosa vediamo? A tutta prima ci sembra che le teorie non durino che un giorno e che le rovine si accumulino sulle rovine. Un giorno le teorie nascono, il giorno dopo non sono alla moda, domani l'altro sono classiche, il terzo giorno sono viete, e il quarto dimenticate. Ma se si guarda più da vicino, si vede che ciò che soccombe sono le teorie propriamente dette quelle che pretendono di farci sapere ciò che sono le cose. Ma in loro c'è qualchecosa che sovente sopravvive. Se una di esse ci ha fatto conoscere un rapporto vero, quel rapporto è definitivamente acquisito e lo ritroveremo mascherato a nuovo in altre teorie che verranno successivamente.

Prendiamo un solo esempio: la teoria delle ondulazioni del-

l'etere ci insegnava che la luce è un movimento; oggi la moda favorisce la teoria elettromagnetica che ci insegna che la luce è una corrente. Non esaminiamo se si potrebbero conciliare le due teorie e dire che la luce è una corrente e che quella corrente è un movimento. Siccome è probabile che in ogni caso quel movimento non sarebbe identico a quello che ammettevano i partigiani della antica teoria, ci si potrebbe credere autorizzati a dire che quella antica teoria è detronizzata. Eppure ne resta qualcosa giacché fra le correnti ipotetiche che ammette Maxwell, corrono gli stessi rapporti che correvano fra gli ipotetici movimenti che ammetteva Fresnel. C'è dunque qualche cosa che resta in piedi e questo qualche cosa è l'essenziale. E questo spiega come i fisici attuali possano passare senza disagio alcuno dal linguaggio di Fresnel a quello di Maxwell.

Senza dubbio molti accostamenti che credevamo ben stabiliti sono stati abbandonati, ma gran numero di essi sussiste e sembra dover sussistere.

E per questi, allora, qual'è la misura della loro oggettività?

Ebbene: essa è precisamente la stessa della nostra credenza agli oggetti esteriori. Quest'ultimi sono reali in ciò che le sensazioni che essi ci fanno provare ci appaiono legate fra loro da non so qual cemento indistruttibile, e non dal caso di un giorno. Nello stesso modo la scienza ci rivela fra i fenomeni altri legami più sottili ma non meno solidi; e questi sono fili così slegati che per molto tempo sono rimasti nascosti; ma una volta notati non c'è più modo di non vederli; essi non sono — quei legami — meno reali di quelli che danno agli oggetti esteriori la loro realtà. Poco importa che sieno stati conosciuti più recentemente, dal momento che gli uni non possono perire prima degli altri.

Si può dire, per esempio, che l'etere non ha una realtà minore di quella di un corpo esteriore qualsiasi; dire che questo corpo esiste equivale a dire che c'è in questo corpo un legame intimo fra il suo colore il suo odore il suo sapore, dire che l'etere esiste equivale a dire che c'è una parentela naturale fra tutti i fenomeni ottici; e le due proposizioni hanno lo stesso valore.

E anche le sintesi scientifiche hanno in un certo senso più realtà di quelle del senso comune perché abbracciano più termini e tendono ad assorbire in se stesse le sintesi parziali.

Si dirà che la scienza non è che una classificazione e che una classificazione non può essere vera ma comoda. Ma è vero che è comoda, è vero che è comoda non soltanto per me ma per tutti gli uomini; è vero che resterà comoda per i nostri discendenti; è finalmente vero che ciò non può essere per mero caso.

Riassumendo: la sola realtà oggettiva sono i rapporti delle cose dai quali resulta la armonia universale. Senza dubbio, questi rapporti, questa armonia, non possono essere concepiti al di fuori di uno spirito che li concepisca o che li senta. Ma sono tuttavia oggettivi perché sono, diverranno e resteranno comuni a tutti gli esseri pensanti.

Questo ci permetterà di tornare sulla questione della rotazione della Terra; e ciò ci fornirà nello stesso tempo l'occasione di chiarire con un esempio quel che abbiamo detto sin qui.

## La rotazione della Terra

« .... Per cui — ho detto in *Science et Hypothèse* — questa affermazione "la Terra gira" non ha alcun senso.... o piuttosto queste due proposizioni "la Terra gira" e "è più comodo supporre che la Terra giri" hanno un solo e medesimo senso ».

Queste parole hanno causato le più strane interpretazioni. C'è chi ha voluto vedere in esse la riabilitazione del sistema tolemaico e forse la giustificazione della condanna di Galileo.

Eppure coloro che avevano letto attentamente l'intero volume non potevano ingannarsi. Questa verità: « la Terra gira », veniva posta sullo stesso piede del postulato di Euclide, per esempio; e questo voleva dire respingerla? Ma v'ha di meglio; con lo stesso linguaggio si dirà benissimo: queste due proposizioni: « il mondo esiste » oppure « è più comodo supporre che

esiste » hanno un solo e medesimo senso. E così la ipotesi della rotazione della terra conserverebbe lo stesso grado di certezza della esistenza stessa degli oggetti esteriori.

Ma dopo ciò che abbiamo spiegato possiamo andare anche più lontano. Una teoria fisica, abbiamo detto, è tanto più vera quanti più rapporti veri mette in evidenza. Alla luce di questo nuovo principio esaminiamo la questione che ci occupa.

No, non c'è spazio assoluto; queste due proposizioni contraddittorie: « la Terra gira » e « la Terra non gira » non sono dunque cinematicamente più vere l'una dell'altra. Affermare l'una e negar l'altra *nel senso cinematico* equivarrebbe ammettere la esistenza dello spazio assoluto.

Ma se l'una ci rivela dei rapporti veri che l'altra ci dissimula, si potrà almeno considerarla come fisicamente più vera dell'altra, poiché essa ha un contenuto più ricco. Ora in questo senso nessun dubbio è possibile.

Ecco il movimento diurno apparente delle stelle e il movimento diurno degli altri corpi celesti ed ecco l'appiattimento della Terra e la rotazione del pendolo di Foucault, il rotare dei cicloni, i venti alisei e via discorrendo. Per il tolemaico tutti questi fenomeni non hanno nessun legame fra di loro; per il seguace di Copernico sono tutti generati da una stessa causa. Dicendo che la Terra gira, affermo che tutti quei fenomeni hanno un rapporto intimo, e *questo è vero*, e resta vero quantunque non ci sia né ci possa essere spazio assoluto.

Ecco per la rotazione della Terra su se stessa. Che dire per la sua rivoluzione intorno al Sole? Anche qui abbiamo tre fenomeni che per il seguace di Tolomeo sono assolutamente indipendenti e che per il seguace di Copernico hanno la stessa origine. Sono gli spostamenti apparenti dei pianeti sulla sfera celeste, la aberrazione delle stelle fisse, la parallasse di queste stelle. È forse un caso che tutti i pianeti ammettono una ineguaglianza il cui periodo è d'un anno e che questo periodo è precisamente eguale a quello della aberrazione, e anche precisamente eguale a quello della parallasse? Adottare il sistema di Tolomeo

vale quanto rispondere di sì; adottare quello di Copernico vale quanto rispondere di no; significa affermare che c'è un legame fra i tre fenomeni e ciò è vero quantunque non esista lo spazio assoluto.

Nel sistema di Tolomeo i movimenti dei corpi celesti non si possono spiegare con la azione di forze centrali; la Meccanica Celeste è impossibile. I rapporti intimi che la Meccanica Celeste ci rivela fra tutti i fenomeni celesti sono rapporti veri; affermare la immobilità della Terra varrebbe quanto negare quei rapporti, che è quanto dire commettere un errore.

La verità per la quale Galileo ha sofferto, resta dunque la verità, quantunque ella non abbia esattamente lo stesso senso che ha per l'uomo volgare, e che il suo vero senso sia ben più sottile, più profondo e più ricco.

## La Scienza per la Scienza

Non è contro il Le Roy che io voglio difendere la Scienza per la Scienza; forse egli la condanna, ma peraltro la coltiva, perché ama e ricerca la verità e non saprebbe vivere senza di essa. Debbo soltanto fare qualche riflessione.

Noi non possiamo conoscere tutti i fatti e dobbiamo scegliere quelli che son degni d'essere conosciuti. Se si dovesse credere a Tolstoi, gli scienziati farebbero quella scelta a caso, invece di farla, ciò che sarebbe ragionevole, in vista di applicazioni pratiche. Invece gli scienziati credono che certi fatti sieno più importanti di altri perché completano una armonia incompiuta o perché fanno prevedere un gran numero di altri fatti. Se hanno torto, se questa gerarchia di fatti che essi implicitamente postulano non è che una vana illusione, non vi può essere Scienza per la Scienza e di conseguenza non vi può essere Scienza.

Quanto a me, credo che essi abbiano ragione e, per esempio, ho mostrato più sopra qual'è il valore altissimo dei fatti

astronomici, non perché essi sieno suscettibili di applicazioni pratiche ma perché sono i più istruttivi di tutti.

Le civiltà valgono solo per la Scienza e per l'Arte. Ci siamo meravigliati della formula « la Scienza per la Scienza » eppure essa vale quanto l'altra: « la vita per la vita », se la vita non è che miseria; e anche « la felicità per la felicità » se non si crede che tutti i piaceri sieno della stessa qualità, se non si vuole ammettere che lo scopo della civiltà sia di fornire l'alcool alla gente cui piace bere.

Ogni azione deve avere uno scopo. Noi dobbiamo soffrire, dobbiamo lavorare, dobbiamo pagare il nostro posto allo spettacolo, ma per vedere; o almeno perché altri vedano un giorno.

Tutto ciò che non è pensiero è il puro nulla; giacché non possiamo pensare che il pensiero e tutte le parole di cui disponiamo per parlare delle cose non possono esprimere altro che pensieri. Dire che c'è qualcos'altro oltre il pensiero è dunque una affermazione che non può avere alcun senso.

Eppure — strana contradizione per chi crede nel tempo — la storia geologica ci mostra che la vita non è che un corto episodio fra due eternità di morte, e che in questo episodio il pensiero cosciente non ha durato e non durerà che un momento. Il pensiero non è che un lampo nel mezzo di una lunga notte.

Ma quel lampo è tutto.

# LA SCIENZA È ARTIFICIALE? (1)

## 1. La filosofia di Le Roy

Ecco molte ragioni per essere scettici; dobbiamo spingere sino in fondo il nostro scetticismo o fermarci a mezza strada? Andare fino in fondo è la soluzione la più tentante, la più comoda ed è appunto questa che molti hanno adottato disperando di poter salvare qualcosa dal naufragio.

Fra gli scritti ispirati a questa tendenza è giusto porre in prima linea quelli di Le Roy. Questo pensatore non è soltanto un filosofo e uno scrittore di gran merito, ma è giunto ad avere una conoscenza profonda delle scienze esatte e delle scienze fisiche ed ha perfino mostrato di avere preziose facoltà di invenzione matematica.

Riassumiamo in poche parole la sua dottrina, che ha dato luogo a numerose discussioni.

La scienza non è fatta che di convenzioni ed è unicamente a ciò che essa deve la sua apparente certezza; i fatti scientifici, e *a fortiori* le leggi, sono l'opera artificiale dello scienziato; la scienza non può dunque insegnarci nulla intorno alla verità, essa non può che servirci di regola d'azione.

Si riconosce qui la teoria filosofica conosciuta col nome di nominalismo; non tutto è falso in questa teoria; bisogna lasciarla

(1) Da *La Valeur de la Science*, ed. cit., parte terza, pp. 213 a 247.

nel suo dominio, ma sarebbe bene che dal suo dominio essa non uscisse.

C'è di più; la dottrina di Le Roy non è soltanto nominalistica; essa ha anche un altro carattere che senza dubbio le deriva dall'influenza di Bergson: essa è anti-intellettualistica. Per Le Roy l'intelligenza deforma tutto quello che tocca, e ciò si può dire a maggior ragione del suo strumento necessario « il discorso ». Non c'è realtà se non nelle nostre impressioni fuggitive e cangianti, e anche questa realtà appena la si tocca svanisce.

E ciò nonostante Le Roy non è uno scettico; se egli reputa la intelligenza come irrimediabilmente impotente, non lo fa che per dare maggior posto ad altre sorgenti di conoscenza; al cuore, per esempio, al sentimento, all'istinto, oppure alla fede.

Qualunque sia la stima che io ho del talento del Le Roy, qualunque sia la ingegnosità della sua tesi, io non posso interamente accettarla. Certo col Le Roy io son d'accordo su molti punti; anzi in appoggio al suo modo di vedere egli ha citato diversi passaggi dei miei scritti che non sono disposto in nessun modo a smentire. E proprio per questo sento maggiormente l'obbligo di spiegare per quale ragione non posso seguire il Le Roy sino in fondo.

Il Le Roy si lamenta spesso d'essere accusato di scetticismo. Non poteva non esserlo, nonostante che questa accusa sia probabilmente ingiusta. Le apparenze non sono forse contro di lui? Dottrinariamente nominalista, ma realista di cuore, sembra che egli sfugga al nominalismo assoluto soltanto per un disperato atto di fede.

È che la filosofia anti-intellettualistica, rinunciando all'analisi e al « discorso », si condanna appunto per questo a essere intrasmissibile. È una filosofia essenzialmente interiore, o per lo meno ciò che se ne può trasmettere sono soltanto le negazioni. E allora come ci si può meravigliare se per un osservatore esterno essa prende gli aspetti dello scetticismo?

È questo il punto debole di questa filosofia; la quale se vuol

restare fedele a se stessa, esaurisce tutta la sua forza in una negazione e un grido d'entusiasmo.

Questa negazione e questo grido, ogni autore può ripeterlo, variarne la forma, ma non vi può aggiungere nulla.

Anzi, non sarebbe egli più conseguente se tacesse? Eppure avete scritto dei lunghi articoli e necessariamente avete dovuto adoperare delle parole; non siete dunque stato più « discorsivo » e per conseguenza assai più lontano dalla vita e dalla verità di quel che non lo sia l'animale che vive semplicemente senza filosofare? E non sarebbe forse egli, questo animale, il vero filosofo?

Eppure dal solo fatto che un pittore non ha saputo fare un ritratto somigliante dobbiamo noi concludere che il miglior modo di dipingere sia quello di non dipingere? Quando uno zoologo disseziona un animale certamente *lo altera*. Sì, dissezionandolo egli si condanna a non conoscerlo completamente; ma se non ne facesse la dissezione egli si condannerebbe a non conoscerlo mai nemmeno in parte e per conseguenza a non dirne mai nulla.

Certo, nell'uomo vi sono altre forze oltre l'intelligenza, nessuno è stato mai così pazzo da negarlo. Quelle forze cieche, il primo venuto le fa agire o le lascia agire; il filosofo deve *parlarne*; per parlarne deve conoscerne quel poco che se ne può conoscere. Deve dunque *guardarle* agire. Come? Con quali occhi se non con la sua intelligenza? Il cuore l'istinto possono guidarla, l'intelligenza, ma non renderla inutile; essi possono dirigere lo sguardo, ma non rimpiazzare l'occhio. Che il cuore sia l'operaio e la intelligenza sia lo strumento si può anche ammettere; ma è uno strumento, quello, di cui non si può fare a meno, se non per agire, almeno per filosofare. Per questo una filosofia veramente anti-intellettualistica è impossibile. Forse saremo costretti ad ammettere il primato dell'azione; ma è pur sempre la intelligenza che giungerà a quella conclusione. Cedendo il passo alla azione, essa conserverà la superiorità nel settore pensante. È anche questo un primato non disprezzabile.

Mi si perdonino queste brevi riflessioni e mi si perdoni an-

che di farle così brevi e d'avere appena sfiorata la questione. Il soggetto che voglio trattare non è il processo all'intellettualismo. Voglio parlare della scienza; e per essa non vi sono dubbi possibili. Per definizione, la scienza o sarà intellettualista o non esisterà. E si tratta precisamente di sapere se esisterà.

## 2. La Scienza regola l'azione

Per il Le Roy la scienza non è che una regola d'azione. Noi non possiamo conoscere nulla, ma ci siamo imbarcati, siamo costretti ad agire e, così a caso, ci siamo fissati alcune regole. L'insieme di queste regole lo chiamiamo scienza.

Allo stesso modo gli uomini, desiderando di divertirsi, hanno fissato alcune regole di gioco, come quelle del tric-trac per esempio, che potrebbero meglio della stessa scienza appoggiarsi al consenso universale. Parimente, essendo costretti a scegliere, ma incapaci di scegliere, gettiamo in aria una moneta.

La regola del tric-trac è certo una regola d'azione come la scienza, ma crediamo veramente che il paragone sia giusto e non vediamo la differenza? Le regole del gioco sono delle convenzioni arbitrarie e avremmo potuto adottare la convenzione opposta che *non sarebbe stata meno buona dell'altra.*

Invece la scienza è una regola d'azione che riesce, almeno generalmente; mentre, aggiungo, la regola contraria non sarebbe riuscita.

Se io dico: per produrre idrogeno fate agire un acido sullo zinco, io formulo una regola che riesce; avrei potuto dire: fate agire dell'acqua distillata sull'oro — e sarebbe stata anche questa una regola —; soltanto non sarebbe riuscita.

Se dunque le « ricette » scientifiche hanno un valore come regola d'azione, ciò dipende dal fatto che noi sappiamo che esse riescono, almeno generalmente. Ma saper questo vuol dire sapere qualchecosa, e allora perché ci venite a dire che non possiamo conoscer nulla?

La scienza prevede e appunto perché prevedere può essere utile e servire di regola d'azione. So bene che le sue previsioni sono spesso smentite dall'avvenimento; ciò prova che la scienza è imperfetta e se aggiungo che resterà sempre imperfetta, sono sicuro che questa almeno è una previsione che non sarà smentita. Resta certo ad ogni modo che uno scienziato si inganna assai meno spesso di un profeta che predice a caso. D'altra parte il progresso è lento ma continuo, di modo che gli scienziati, per quanto sempre più arditi sono sempre meno smentiti. È poco ma è abbastanza.

So bene che Le Roy ha detto che la scienza si inganna assai più spesso di quanto non si creda, che le comete giocano qualche volta dei tiri agli astronomi, che gli scienziati, i quali apparentemente sono degli uomini, non parlano volentieri dei loro insuccessi e che se ne parlassero dovrebbero registrare più sconfitte che vittorie.

Quel giorno il Le Roy è andato evidentemente più in là del suo pensiero. Se la scienza non riuscisse non potrebbe servire di regola d'azione; e di dove le deriverebbe il suo valore? Dal fatto, forse, che essa è « vissuta » e cioè che l'amiamo e che crediamo in lei? Ma gli alchimisti avevano delle ricette per fare l'oro, le amavano e avevano fede in loro; eppure le ricette buone sono le nostre perché riescono; e questo nonostante che la nostra fede sia meno viva di quella degli alchimisti.

Non c'è modo di sfuggire a questo dilemma: o la scienza non ci permette di fare delle previsioni e allora essa non ha alcun valore come regola d'azione; oppure ella ci permette di fare delle previsioni in modo più o meno perfette, e allora essa non è senza valore come mezzo di conoscenza.

E non si può nemmeno dire che l'azione sia lo scopo della scienza; dobbiamo noi condannare gli studi fatti sulla stella Sirio con il pretesto che non eserciteremo mai nessuna azione su quell'astro?

Anzi per me è proprio la conoscenza che è lo scopo, e la azione è il mezzo. Se mi compiaccio dello sviluppo industriale

non è soltanto perché esso fornisce un argomento facile agli avvocati della scienza, ma è soprattutto perché esso dà allo scienziato la fede in se stesso; e anche perché gli offre un campo di esperienza immenso, nel quale egli urta contro forze tanto colossali che non può modificare, sia pure incoscientemente, in favore della sua tesi. Chissà! Senza questa zavorra egli abbandonerebbe forse la terra, sedotto dal miraggio di qualche nuova scolastica, oppure si dispererebbe credendo di non aver fatto che un sogno.

### 3. Il fatto bruto e il fatto scientifico

Ma quel che vi è di più paradossale nella tesi del Le Roy è la affermazione che *lo scienziato crea il fatto*; e questo è al tempo stesso il punto essenziale e uno di quelli che sono stati più discussi.

Forse, egli dice (e credo che questa sia una concessione che egli fa) non è lo scienziato che crea il fatto bruto; ma è lui che crea il fatto scientifico.

Questa distinzione fra fatto bruto e fatto scientifico non mi sembra per se stessa illegittima. Ma lamento anzitutto che la frontiera fra l'uno e l'altro non sia stata tracciata né in modo esatto né in modo preciso; e inoltre lamento che l'autore sembri sottintendere che il fatto bruto, non essendo scientifico, è al di fuori della scienza.

E infine non posso ammettere che lo scienziato crei liberamente il fatto scientifico, giacché è il fatto bruto che glielo impone.

Gli esempi portati da Le Roy mi hanno molto meravigliato. Il primo è tratto dalla nozione di atomo. L'atomo scelto come esempio di fatto! Confesso che questa scelta mi ha talmente sconcertato che preferisco non parlarne. Evidentemente ho capito male il pensiero dell'autore e non potrei dunque discutere con profitto. Il secondo caso preso come esempio è quello di una eclissi, in cui il fenomeno bruto è un gioco di luci e

d'ombre, ma dove l'astronomo non può intervenire senza portare con sé due elementi estranei; e cioè un orologio e la legge di Newton.

Infine Le Roy cita la rotazione della Terra. Gli è stato detto: « ma questo non è un fatto » e egli ha replicato: « era un fatto per Galileo che lo affermava e per l'inquisitore che lo negava ». Resta peraltro che non è un fatto allo stesso titolo degli altri di cui s'è parlato più sopra e che dare lo stesso nome a questi e a quello è un volere esporsi a molte confusioni.

Ecco dunque quattro gradini:

1°. è buio, dice l'ignorante;

2°. l'eclisse è avvenuta alle 9, dice l'astronomo;

3°. l'eclisse è avvenuta all'ora che si può dedurre dalle tavole compilate secondo la legge di Newton, dice ancora l'astronomo;

4°. ciò dipende dal fatto che la Terra gira intorno al Sole, dice infine Galileo.

Dov'è dunque la frontiera fra il fatto bruto e il fatto scientifico? A leggere Le Roy bisognerebbe credere che è fra il primo e il secondo gradino; ma chi non vede che c'è assai più distanza fra il secondo e il terzo e una distanza ancora maggiore fra il terzo e il quarto?

Permettetemi di citare due esempi che forse ci illumineranno un poco.

Io osservo la deviazione di un galvanometro con l'aiuto di uno specchio mobile che proietta una immagine luminosa (o indice) sopra una scala graduata. Il fatto bruto è: « io vedo l'indice spostarsi sulla scala »; il fatto scientifico è: « passa una corrente nel circuito ».

Inoltre, quando faccio una esperienza io debbo fare certe correzioni ai resultati della esperienza stessa perché so di aver potuto commettere degli errori. Questi errori sono di due specie: gli uni sono accidentali e li correggerò prendendo la media; gli altri sono sistematici e non potrò correggerli se non con uno studio approfondito delle loro cause.

Il primo resultato ottenuto è allora il fatto bruto, mentre il fatto scientifico è il resultato finale dopo terminate le correzioni.

Riflettendo a questo ultimo esempio, siamo portati a suddividere il nostro secondo gradino; e invece di dire:

2°. l'eclisse è avvenuta alle 9,

noi diremo:

2*a*. l'eclisse è avvenuta quando il mio orologio segnava le nove,

2*b*. il mio orologio ritardava di dieci minuti: l'eclisse è avvenuta alle 9 e dieci.

E non è tutto. Anche il primo scalino deve essere suddiviso; e la distanza fra queste due suddivisioni non sarà la meno grande; fra la impressione di oscurità che prova il testimonio di una eclisse e l'affermazione: « è buio » strappatagli da quella impressione, bisogna fare una distinzione. In un certo senso è la prima che è il solo vero fatto bruto, e la seconda è già una specie di fatto scientifico.

Ecco dunque che la nostra scala ha sei scalini e per quanto non ci sia nessuna ragione di fermarsi a questa cifra, noi ci fermeremo a questa cifra.

Ciò che anzitutto mi colpisce è questo. Al primo dei nostri scalini, il fatto, ancora completamente bruto, è, per così dire, individuale; è completamente distinto da tutti gli altri fatti possibili. Al secondo scalino non è più la stessa cosa. L'enunciato del fatto potrebbe convenire ad una infinità di altri fatti. Non appena interviene il linguaggio io non dispongo più che di un numero finito di termini per esprimere le infinite sfumature delle mie impressioni. Quando dico: « è buio », questo esprime bene la impressione che provo assistendo a una eclisse; ma nella oscurità si possono immaginare una quantità grandissima di sfumature, e se in luogo di quella che effettivamente si è realizzata, se ne fosse prodotta un'altra un po' diversa, io avrei ciò nonostante enunciato quest'*altro* fatto dicendo egualmente: « è buio ».

Seconda osservazione: anche nel secondo gradino l'enun-

ciato di un fatto non può essere che *vero o falso*. Non sarebbe lo stesso per una proposizione qualsiasi; se una proposizione è l'enunciato di una convenzione, non si può dire che questo enunciato è *vero* nel senso proprio della parola; giacché non potrebbe essere vero mio malgrado, perché è vero soltanto in quanto io voglio che sia vero.

Quando io dico, per esempio: « l'unità di lunghezza è il metro », è un decreto che io faccio, non è una constatazione che si impone a me. E lo stesso è anche quando si tratta del postulato di Euclide, come credo d'aver già dimostrato altrove.

Se mi si domanda: « é buio? », io so sempre se debbo rispondere sì o no.

Quantunque una infinità di fatti possibili sieno suscettibili dello stesso enunciato: « è buio », io saprò sempre se il fatto realizzato rientra o no fra quelli che rispondono a quell'enunciato. I fatti sono classificati in categorie e se mi si domanda se il fatto che io constato rientra o no in tale categoria, io non esiterò a rispondere.

Indubbiamente questa classificazione comporta tanto di arbitrario quanto basta per lasciare alla libertà o al capriccio dell'uomo una parte abbastanza grande. In una parola, quella classificazione è una convenzione. *Data questa convenzione*, se mi si domanda: « il tal fatto è vero? », io saprò sempre che cosa ririspondere e la risposta mi sarà imposta dalla testimonianza dei miei sensi.

Se dunque durante una eclisse si domanda: « è buio? », tutti risponderanno di sì.

Indubbiamente risponderebbero di no tutti coloro che parlassero una lingua nella quale chiaro volesse dire scuro e viceversa.

Ma questo che importanza può avere?

Egualmente in matematica *quando ho posto le definizioni e i postulati che sono delle convenzioni*, un teorema non può essere che vero o falso. Ma per rispondere alla domanda: questo teorema è vero? non dovrò più ricorrere alla testimonianza dei miei sensi, bensì al ragionamento.

L'enunciato di un fatto è sempre verificabile e per la verificazione noi ricorriamo sia alla testimonianza dei nostri sensi sia al ricordo di quella testimonianza. Ed è proprio questo che caratterizza un fatto. Se mi ponete la domanda: « tal fatto è vero? », io comincierò per chiedervi, se è il caso, di precisare le convenzioni; per domandarvi, in altri termini, in che lingua avete parlato; poi, una volta chiarito questo, interrogherò i miei sensi e risponderò sì o no. Ma la risposta saranno i miei sensi che l'avranno data, non « voi » dicendomi d'aver parlato in inglese o in francese.

C'è qualchecosa da cambiare a tutto questo se passiamo ai gradini seguenti? Quando osservo un galvanometro, come appunto dicevo poco fa, se domando a un osservatore ignorante: « passa la corrente? » egli guarderà il filo per vedere se sul filo passa qualchecosa; ma se io pongo la stessa questione al mio assistente, che capisce la mia lingua, egli saprà che ho voluto dire: « si sposta l'indice? »; e guarderà la scala.

Allora che differenza c'è fra l'enunciato di un fatto bruto e l'enunciato di un fatto scientifico? C'è la stessa differenza che c'è fra l'enunciato di uno stesso fatto bruto in lingua francese e in lingua tedesca. L'enunciato scientifico è la traduzione dell'enunciato bruto in un linguaggio che si distingue dal francese volgare e dal tedesco volgare soprattutto perchè è parlato da un numero molto più ristretto di persone.

Ma non corriamo troppo. Per misurare una corrente io posso servirmi di un grandissimo numero di tipi di galvanometro e anche posso servirmi di un elettrodinamometro. E allora quando dirò: « in questo circuito passa una corrente di tanti ampères » ciò vorrà dire: « se adatto a questo circuito il tale galvanometro io vedrò l'indice andare sulla suddivisione *a*; ma vorrà anche dire: « se adatto a questo circuito il tal elettrodinamometro, io vedrò l'indice andare sulla suddivisione *b*. E vorrà dire anche tante altre cose perché la corrente può non soltanto manifestarsi con effetti meccanici, ma con effetti chimici, termici, luminosi, etc.

Ecco dunque uno stesso enunciato che conviene a un grandissimo numero di fatti assolutamente diversi. Perché? Perché ammetto una legge secondo la quale tutte le volte che il tale effetto meccanico si produce si produrrà anche il tale effetto chimico. Molte esperienze anteriori non mi hanno mai mostrato quella legge in difetto e allora mi sono reso conto che posso esprimere con lo stesso enunciato due fatti così inviariabilmente legati l'uno all'altro.

Quando mi si domanderà: « passa la corrente? » io potrò intendere che ciò vuol dire: « il tale effetto meccanico si produrrà? »; ma io potrei intendere anche: « il tale effetto chimico si produrrà? » Verificherò dunque sia l'esistenza dell'effetto meccanico sia quella dell'effetto chimico; e ciò sarà indifferente giacché in un caso come nell'altro la risposta deve essere la medesima.

E se un giorno si riconoscesse che la legge è falsa? Se ci si accorgesse che la concordanza dei due effetti meccanico e chimico non è costante? Quel giorno bisognerebbe modificare il linguaggio scientifico per fare sparire da esso una grave ambiguità.

Eppoi? Si crede forse che il linguaggio ordinario per mezzo del quale si esprimono i fatti della vita quotidiana sia esente da ambiguità?

*Ne concluderemo forse che i fatti della vita quotidiana sono l'opera dei grammatici?*

Voi mi domandate: « C'è una corrente? »; io cerco se l'effetto meccanico esiste, lo constato e rispondo: « Sì, c'è una corrente ». Voi capite nello stesso tempo che l'effetto meccanico esiste e che esiste anche l'effetto chimico che non ho cercato.

Immaginiamo ora che, per assurdo, la legge che credevamo vera non sia vera e che in questo caso non esista l'effetto chimico. In questa ipotesi vi saranno due fatti distinti: uno direttamente osservato che è vero, l'altro supposto che è falso. A rigor di termini si potrà dire che il secondo siamo noi che lo abbiamo creato. Di modo che la parte di collaborazione dell'uomo nella creazione del fatto scientifico è l'errore.

Ma se possiamo dire che il fatto di cui si parla è falso, non

è forse proprio perché esso non è una creazione libera e arbitraria del nostro spirito, una convenzione mascherata, nel quale caso non sarebbe né vero né falso? E infatti era verificabile; non avevo fatto la verificazione ma avrei potuto farla. Se ho sbagliato a rispondere, è perché ho voluto rispondere troppo presto senza interrogare la natura che, soltanto lei, conosceva il segreto.

Quando dopo una esperienza io correggo gli errori accidentali e quelli sistematici per delimitare il fatto scientifico, sarà sempre la stessa cosa. Il fatto scientifico non sarà mai altro che il fatto bruto tradotto in un altro linguaggio. Quando dirò: « è la tale ora », ciò sarà un modo abbreviato di dire: « c'è la tale relazione fra l'ora che segna il mio orologio e l'ora che questo segnava nel momento del passaggio al meridiano di tale o tal'altro astro ». E una volta che questa convenzione sarà adottata da tutti, quando mi si chiederà: « è la tale ora? » non dipenderà da me rispondere sì o no.

Passiamo al penultimo scalino: l'eclisse è avvenuta all'ora segnata sulle tavole dedotte dalla legge di Newton. Anche questo è un linguaggio convenzionale che è perfettamente chiaro per tutti coloro che conoscono la Meccanica Celeste o semplicemente per coloro che conoscono le tavole calcolate dagli astronomi. Mi si domanda: « l'eclisse avviene all'ora predetta? » Io cerco nella *Conoscenza dei tempi*, vedo che l'eclisse era annunciata per le 9, e capisco che la domanda voleva dire: « l'eclisse è avvenuta alle nove? ». Anche qui non dobbiamo cambiar nulla alle nostre conclusioni: *il fatto scientifico non è che il fatto bruto tradotto in un linguaggio comodo*.

Veramente all'ultimo scalino le cose cambiano. La Terra gira? È questo un fatto verificabile? Per mettersi d'accordo potevano Galileo e il Grande Inquisitore ricorrere alla testimonianza dei loro sensi? Al contrario, erano d'accordo sulle apparenze, e qualunque fossero le esperienze accumulate, sarebbero rimasti d'accordo sulle apparenze senza accordarsi mai sulla loro interpretazione. È anzi appunto per questo che hanno dovuto ricorrere a dei modi di discussione tanto poco scientifici.

Per questo stimo che essi non si trovavano in disaccordo sopra un « fatto »; noi non abbiamo il diritto di dare alla rotazione della Terra, che era l'oggetto delle loro discussioni, lo stesso nome che diamo ai fatti bruti o scientifici che abbiamo esaminato sin qui.

Dopo quello che abbiamo detto finora, sembra superfluo cercare se il fatto bruto è al di fuori della Scienza, giacché non vi può essere né Scienza senza fatto scientifico, né fatto scientifico senza fatto bruto, in quanto che il primo è la traduzione del secondo.

E allora abbiamo noi il diritto di dire che lo scienziato crea il fatto scientifico? Innanzi tutto non lo crea *ex nihilo* poiché lo fa col fatto bruto. Per conseguenza non lo fa liberamente e *come vuole*. Per quanto abile sia un operaio, la sua libertà è sempre limitata dalle proprietà della materia prima sulla quale egli lavora.

Insomma che volete dire quando parlate di quella creazione libera del fatto scientifico, e quando prendete come esempio l'astronomo che interviene attivamente nel fenomeno della eclisse portando il suo orologio? Voi volete dire che l'eclisse è avvenuta alle nove? Ma se l'astronomo avesse voluto dire che essa avveniva alle dieci, ciò non dipendeva che da lui; non aveva che mettere avanti di un'ora il suo orologio.

Ma l'astronomo nel fare questo brutto scherzo avrebbe evidentemente abusato di un equivoco.

Quando egli mi dice: « l'eclisse è avvenuta alle nove » io capisco che 9 è la indicazione dedotta dalla indicazione bruta dell'orologio attraverso la serie di correzioni abituali. Se egli mi ha dato solamente quella indicazione bruta o se ha fatto delle correzioni contrarie alle regole abituali, egli ha cambiato, senza prevenirmi, il linguaggio convenuto. Se invece ha avuto cura di prevenirmi, non posso lamentarmi, ma allora è sempre lo stesso fatto espresso in un altro linguaggio.

Riassumendo, *tutto quello che lo scienziato crea nel fatto, è il linguaggio col quale l'enuncia*. Se egli predice un fatto, impiega

quel linguaggio e per tutti coloro che lo sapranno parlare e intendere la sua predizione è esente da ambiguità. D'altronde una volta quella predizione lanciata, non dipenderà da lui che essa si realizzi o no.

E allora, che cosa resta della tesi del Le Roy? Resta questo: lo scienziato interviene attivamente scegliendo i fatti che meritano di essere osservati. Un fatto isolato non ha per se stesso nessun interesse; acquisterà interesse quando si supporrà che possa aiutare a predire altri fatti; ovvero se, essendo già stato predetto, la sua verificazione è la conferma d'una legge. Chi sceglierà i fatti che, rispondendo a queste condizioni, meritano il diritto di cittadinanza nella scienza? La libera attività dello scienziato.

E non è tutto. Ho detto che il fatto scientifico è la traduzione del fatto bruto in un certo linguaggio; avrei dovuto aggiungere che ogni fatto scientifico è formato da più fatti bruti. Gli esempi citati più sopra lo dimostrano sufficientemente.

Per esempio, per l'ora dell'eclisse il mio orologio segnava l'ora $\alpha$ nell'istante dell'eclisse; segnava l'ora $\beta$ nel momento dell'ultimo passaggio al meridiano di una certa stella che prenderemo come origine delle ascensioni rette; segnava le ore $\gamma$ nel momento del penultimo passaggio di quella stessa stella. Ecco tre fatti distinti (e si può anche osservare che ciascuno di essi resulta da due fatti bruti simultanei, ma tralasceremo questa osservazione). In luogo di ciò io dico: «l'eclissi è avvenuta alle ore $24\,\frac{\alpha-\beta}{\beta-\gamma}$», e i tre fatti si trovano concentrati in un fatto scientifico unico. Ho giudicato che le tre letture $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ fatte sul mio orologio in tre momenti diversi erano prive di interesse e che la sola cosa interessante era la combinazione $\frac{\alpha-\beta}{\beta-\gamma}$ delle tre letture. In questo giudizio si ritrova la libera attività del mio spirito. Ma a questo punto ho esaurita la mia potenza; io non posso far sì che questa combinazione $\frac{\alpha-\beta}{\beta-\gamma}$ abbia questo o quel valore; giacché non posso influire né sul valore di $\alpha$,

né su quello di $\beta$, né su quello di $\gamma$; i quali mi sono tutti e tre imposti come fatti bruti.

Stringi stringi, i fatti sono i fatti e *se succede che sieno conformi a una predizione non è per effetto della nostra libera attività*. Non vi sono frontiere precise fra il fatto bruto e il fatto scientifico; si può soltanto dire che un *enunciato del fatto è più bruto* oppure che è *più scientifico* di un altro enunciato.

## 4. Il Nominalismo e l'Invariante universale

Se dai fatti passiamo alle leggi, è chiaro che la libera attività dello scienziato diverrà molto più grande. Ma Le Roy non la fa anche troppo grande? È proprio questo che ora esamineremo.

Ricordiamo anzitutto gli esempi che egli ha portato. Quando dico: « il fosforo fonde a 44° », io credo di enunciare una legge; in realtà io do la definizione del fosforo; se scoprissimo un corpo che avesse tutte le proprietà del fosforo ma non fondesse a 44°, gli daremmo un altro nome, ecco tutto, e la legge resterebbe vera. Allo stesso modo: quando io dico: « i gravi in libera caduta percorrono spazi proporzionali al quadrato dei tempi », io non faccio che dare la definizione della caduta libera. Ogni volta che la condizione non si verificherà io dirò che la caduta non è libera, di modo che la legge non potrà mai essere in difetto.

È chiaro che se le leggi si riducessero a questo non potrebbero servire a predire; esse non servirebbero dunque a nulla, né come modo di conoscenza né come regola di azione.

Quando dico: « il fosforo fonde a 44° », io voglio dire che tutti i corpi che posseggono tale o tal'altra proprietà (e cioè tutte le qualità del fosforo salvo il punto di fusione) fondono a 44°. Intesa così la mia proposizione è proprio una legge, e questa legge potrà essermi utile, giacché se trovo un corpo che possiede tutte quelle proprietà io potrò predire che fonderà a 44°.

Indubbiamente si potrà scoprire che la legge è falsa. Allora nei trattati di chimica leggeremmo: « esistono due corpi che i chi-

mici hanno per molto tempo confuso col nome di fosforo; questi due corpi non differiscono che per il loro punto di fusione». Non sarà davvero la prima volta che i chimici arriverebbero a separare due corpi che sulle prime non hanno saputo distinguere; tali sono, ad esempio, il neodimo e il praseodimo, per molto tempo confusi sotto il nome di didimio.

Non credo che i chimici temano troppo che simile disavventura possa capitare al fosforo. E se per assurdo dovesse succedere, i due corpi non avrebbero *identicamente* la stessa densità, *identicamente* lo stesso calore specifico ecc.; di modo che dopo aver determinato con cura, per esempio, la densità, si potrà sempre prevedere il punto di fusione.

Poco importa d'altronde; basta stabilire che c'è una legge e che questa legge, vera o falsa che sia, non si riduce a una tautologia.

Diremo forse che se noi non conosciamo sulla Terra un corpo che non fonde a 44° pur avendo tutte le altre proprietà del fosforo, noi non possiamo però sapere se quel corpo esista su altri pianeti? Senza dubbio ciò si può sostenere, e allora noi concluderemo che questa legge di cui si parla e che può servire a noi abitatori della Terra, non ha però alcun valore generale dal punto di vista della conoscenza e non deve il suo interesse se non al caso che ci ha posti su questo globo. È possibile, ma se ciò fosse, la legge non avrebbe valore, non perché essa si riduce a una convenzione, ma perché sarebbe falsa. Egualmente si può dire per ciò che concerne la caduta dei corpi.

Non mi servirebbe a nulla aver dato il nome di caduta libera alle cadute che avvengono conformemente alla legge di Galileo se d'altra parte non sapessi che in certe circostanze la caduta sarà *probabilmente* libera o *quasi* libera. E allora quella è una legge che può essere vera o falsa, ma che non si riduce più a una convenzione.

Suppongo che gli astronomi abbiano scoperto che gli astri non obbediscono esattamente alla legge di Newton. Essi potranno scegliere fra due atteggiamenti; potranno dire che la gravita-

zione non varia esattamente come l'inverso del quadrato delle distanze, ovvero potranno dire che la gravitazione non è la sola forza che agisce sugli astri, e che ad essa s'aggiunge un'altra forza di natura diversa.

In questo secondo caso si considererà la legge di Newton come la definizione della gravitazione. E sarà l'atteggiamento nominalista. La scelta fra i due atteggiamenti resta libera e viene fatta per considerazioni di comodità, quantunque quelle considerazioni sieno talmente potenti che praticamente non resta gran che di quella libertà di scelta. Possiamo scomporre questa proposizione: (1) « *gli astri seguono la legge di Newton* » in due altre: (2) « *la gravitazione segue la legge di Newton* », (3) « *la gravitazione è la sola forza che agisce sugli astri* ». In questo caso la proposizione (2) non è che una definizione e sfugge al controllo della esperienza; ma allora sarà sulla proposizione (3) che si potrà esercitare questo controllo. E bisogna pure che sia così, giacché la proposizione resultante (1), predice dei fatti bruti verificabili.

È proprio grazie a questi artifici che con un incosciente nominalismo gli scienziati hanno elevato al di sopra delle leggi ciò che essi chiamano « principii ». Quando una legge ha avuto una sufficiente conferma dall'esperienza, noi possiamo assumere due atteggiamenti: o lasciare quella legge in discussione (e allora essa resterà sottoposta ad una incessante opera di revisione che senza dubbio alcuno finirà col dimostrare che essa è soltanto approssimativa) oppure erigerla a *principio*, adottando certe convenzioni in forza delle quali la proposizione sia certamente vera. Per far questo si procede sempre nello stesso modo. La legge primitiva enunciava una relazione fra due fatti bruti A e B; si introduce fra i due fatti bruti un intermediario astratto C più o meno fittizio (tale era nell'esempio precedente la entità impalpabile della gravitazione); e allora abbiamo una relazione fra A e C che possiamo supporre rigorosa e che è il *principio*; e un'altra fra C e B che resta una legge riesaminabile.

Il principio, oramai per così dire cristallizzato, non viene più

sottoposto al controllo dell'esperienza. Non è più né vero né falso; è comodo.

Si sono trovati spesso dei grandi vantaggi in questo modo di procedere, ma è chiaro che se *tutte* le leggi fossero state trasformate in principii, della Scienza non sarebbe rimasto nulla. Ogni legge si può scomporre in un principio e una legge, ma appunto per questo è ben chiaro che anche spingendo al massimo possibile quella scomposizione, qualche legge resterà sempre.

Il nominalismo ha dunque dei limiti ed è proprio questo che potremmo disconoscere se prendessimo alla lettera le asserzioni del Le Roy.

Passando rapidamente in rivista le scienze capiremo meglio quali sono quei limiti. L'atteggiamento nominalista non è giustificato se non quando è comodo; ma quand'è che è comodo?

L'esperienza ci fa conoscere alcune relazioni fra i corpi e questo è il fatto bruto. Quelle relazioni sono estremamente complicate. In luogo di guardare direttamente la relazione fra il corpo A e il corpo B, noi introduciamo fra di loro un intermediario che è lo spazio e vediamo tre relazioni distinte: quella del corpo A con la figura A′ dello spazio, quella del corpo B con la figura B′ dello spazio, e quella fra le due figure A′ e B′ fra loro. Perché questo giro è vantaggioso? Perché le relazioni A e B erano complicate ma differivano poco dalla relazione fra A′ e B′ che è semplice: in modo che quella relazione complicata può essere rimpiazzata dalla relazione semplice fra A′ e B′, e da due altre relazioni che ci fanno conoscere che le differenze fra A e A′ da una parte, e B e B′ dall'altra, sono *molto piccole*. Per esempio, se A e B sono due corpi solidi naturali che si spostano deformandosi leggermente, noi ci troviamo di fronte a due figure *invariabili* mobili A′ e B′. Le leggi degli spostamenti relativi di quelle figure A′ e B′ saranno molto semplici; saranno quelle della geometria. E aggiungeremo in seguito che il corpo A, che differisce sempre assai poco da A′, si dilata per effetto del calore e si piega per effetto della elasticità. Queste dilatazioni e queste flessioni appunto perché sono molto piccole saranno per il nostro spirito di

studio relativamente facile. Ma immaginate a quali complicazioni di linguaggio saremmo stati costretti se si fosse voluto comprendere in uno stesso enunciato lo spostamento del solido, la sua dilatazione e la sua flessione?

La relazione fra A e B era una legge bruta ed essa si è scomposta: abbiamo ora due leggi che esprimono le relazioni fra A e A′ e quelle fra B e B′ e un principio che esprime quella fra A′ e B′. È l'insieme di questi principi che si chiama geometria.

Ancora due osservazioni. Abbiamo una relazione fra due corpi A e B che abbiam rimpiazzata con una relazione fra due figure A′ e B′; ma questa stessa relazione fra le due stesse figure A′ e B′ avrebbe potuto vantaggiosamente rimpiazzare una relazione fra due corpi A″ e B″ completamente diversi da A e B. E questo in molti modi. Se non si fossero inventati i principi e la geometria, dopo avere studiato la relazione fra A e B bisognerebbe ricominciare *ab ovo* lo studio della relazione di A″ rispetto a B″. È appunto per questo che la geometria è preziosa. Una relazione geometrica può rimpiazzare vantaggiosamente una relazione la quale, esaminata allo stato bruto, dovrebbe essere considerata come meccanica; può rimpiazzarne un'altra che dovrebbe essere considerata come ottica, ecc. ecc.

E allora che non ci si venga a dire: questa è la prova che la geometria è una scienza sperimentale; separando i suoi principi dalle leggi dalle quali sono stati estratti, voi la separate artificialmente dalle scienze che l'hanno fatta nascere. Anche le altre scienze hanno dei principi e ciò non impedisce che si debba chiamarle sperimentali.

Bisogna riconoscere che sarebbe stato difficile non fare quella separazione che si pretende artificiale. Sappiamo la parte che ha avuto la cinematica dei corpi solidi nella genesi della geometria; e allora bisognerà dire per questo che la geometria non è che un ramo della cinematica sperimentale? Ma anche le leggi della propagazione rettilinea della luce hanno contribuito alla formazione dei principi della geometria. Bisognerà dunque allora considerare la geometria come un ramo della cinematica e nello

stesso tempo come un ramo dell'ottica? Ricordo inoltre che il nostro spazio euclideo, che è precisamente l'oggetto della geometria, è stato scelto per ragioni di comodità fra un certo numero di tipi che preesistono nel nostro spirito e che chiamiamo gruppi.

Se passiamo alla Meccanica vediamo ancora dei grandi principi la cui origine è analoga, e siccome il loro « raggio d'azione » per così dire è meno grande, non abbiamo più nessuna ragione di separarli dalla Meccanica propriamente detta, né di considerare questa scienza come deduttiva.

E finalmente in Fisica la parte che hanno i principî è ancora minore. E infatti non ve li introduciamo che quando se n'ha un vantaggio. Ma essi sono vantaggiosi quando sono pochi, perché ciascuno di essi rimpiazza approssimativamente un grande numero di leggi. Non abbiamo dunque nessun interesse a moltiplicarli. D'altronde, bisogna arrivare a un fine e per questo bisogna pure finire con l'abbandonare la astrazione per prendere contatto con la realtà.

Ecco quali sono i limiti del nominalismo; e sono stretti.

Il Le Roy ha però insistito, ed ha posto la questione sotto un'altra forma.

Giacché l'enunciato delle nostre leggi può variare col variare delle convenzioni che adottiamo, e poiché queste convenzioni possono modificare anche le naturali relazioni di quelle leggi, c'è nell'insieme di queste leggi qualchecosa che sia indipendente da quelle convenzioni e che possa per così dire rappresentare la parte di *invariante universale*? Per esempio, è stata introdotta la finzione di esseri che, avendo compiuta la loro educazione in un mondo differente dal nostro, sarebbero stati condotti a creare una geometria non euclidea. Se questi esseri fossero in seguito bruscamente trasportati nel nostro mondo, essi osserverebbero le stesse leggi che osserviamo noi, ma le enuncerebbero in un modo tutto diverso. In realtà ci sarebbe ancora qualchecosa di comune fra i due enunciati, ma ciò sarebbe perché quegli esseri non differiscono ancora abbastanza da noi. Si possono immaginare degli esseri ancora più strani e allora la parte comune

ai due enunciati si restringerebbe sempre di più. Si restringerà essa così tendendo verso lo zero, ovvero resterà un residuo irriducibile che sarebbe allora l'invariante universale cercato?

La domanda deve essere precisata. Si vuole che quella parte comune ai due enunciati possa esprimersi a parole?

In questo caso è chiaro che non vi sono parole comuni a tutte le lingue, e noi non possiamo avere la pretesa di costruire non so quale invariante universale che sarebbe capito da noi e ad un tempo dai nostri fittizi geometri non euclidiani, allo stesso modo che non possiamo costruire una frase che sia capita tanto dai francesi che non sanno il tedesco, quanto dai tedeschi che non sanno il francese. Ma abbiamo delle regole fisse che ci permettono di tradurre gli enunciati francesi in tedesco e viceversa. È appunto per questo che si fanno delle grammatiche e dei dizionari. Ci sono anche regole fisse per tradurre il linguaggio euclideo in un linguaggio non-euclideo, e se non ve ne fossero, se ne potrebbero fare.

E se anche non vi fossero né interpreti né dizionari, se i Tedeschi e i Francesi dopo aver vissuto per secoli in mondi separati, si trovassero tutto a un tratto in contatto, credete forse che non vi sarebbe nulla di comune fra la scienza dei libri tedeschi e quella dei libri francesi? I Francesi e i Tedeschi finirebbero certamente per intendersi come gli Indiani d'America hanno finito per capire la lingua dei loro vincitori dopo l'arrivo degli Spagnoli.

Ma si dirà: indubbiamente i Francesi sarebbero capaci di capire i Tedeschi anche senza avere imparato il tedesco; sì, ma ciò dipende dal fatto che tra i Francesi e i Tedeschi c'è qualchecosa di comune poiché tanto gli uni che gli altri sono uomini. Arriveremmo anche a intenderci con i nostri ipotetici non-euclidei perché, per quanto non sieno più veri e proprii uomini, conserverebbero ancora qualchecosa di umano. Ad ogni modo un minimo di umanità è necessario.

Può darsi; ma osserverò anzitutto che quel poco di umanità che resterebbe agli ipotetici esseri non-euclidei, basterebbe non

solo a darci la possibilità di tradurre un poco del loro linguaggio, ma a permettersi altresì di tradurre *interamente* la loro lingua.

Ora, che sia necessario un *minimum* lo concedo; e suppongo che esista non so qual fluido che penetra fra le molecole della nostra materia senza esercitare nessuna azione su di essa, e senza subire nessuna azione che venga da essa. Suppongo inoltre che certi esseri sieno sensibili alla influenza di quel fluido e insensibili alla influenza della nostra materia.

È chiaro che la scienza di questi esseri differirebbe assolutamente dalla nostra e che sarebbe superfluo cercare un « invariante » comune alle due scienze. Come anche nel caso che quegli esseri respingessero la nostra logica e non ammettessero, per esempio, il principio di contradizione.

Ma veramente credo che sia senza interesse alcuno esaminare ipotesi simili.

E allora se non spingiamo tanto lontano la bizzarria, se non introduciamo che esseri fittizi aventi dei sensi analoghi ai nostri e sensibili alle stesse nostre impressioni, e che d'altronde ammettano i principi della nostra logica, possiamo concludere che il loro linguaggio pur essendo il più possibile diverso dal nostro sarebbe sempre suscettibile d'essere tradotto.

Ora la possibilità della traduzione implica la esistenza d'un invariante. Tradurre è precisamente mettere in evidenza quel l'invariante. Così come decifrare un documento crittografico è cercare ciò che in quel documento resta invariabile quando se ne permutano le lettere.

Quale sia la natura di tale invariante è ora facile stabilire e basteranno poche parole per farlo.

Le leggi invarianti sono le relazioni fra i fatti bruti, mentre le relazioni fra i « fatti scientifici » restano sempre dipendenti da certe convenzioni.

## LE MATEMATICHE E LA LOGICA (1)

Qualche anno fa ebbi occasione di esporre alcune idee sulla logica dell'infinito, sull'impiego dell'infinito in matematica, sull'uso che n'è stato fatto dopo Cantor; ho spiegato perché non consideravo legittimi certi metodi di ragionamento di cui vari eminenti matematici avevano creduto potersi servire. Naturalmente mi attirai delle accese polemiche: tali matematici non credevano d'essersi sbagliati e ritenevano d'aver avuto il diritto di fare quel che avevan fatto. La discussione si protrasse, non perché sorgessero argomenti sempre nuovi, ma perché si girava intorno allo stesso cerchio, ripetendo ognuno quel che già aveva detto, senza dare a divedere d'aver inteso ciò che era stato detto dall'avversario. Ogni poco mi s'inviava una nuova dimostrazione del principio contestato; ma tale dimostrazione era sempre la stessa, appena mascherata. Perciò non s'è giunti ad alcuna conclusione e, se dicessi d'esserne stupito, darei una meschina idea della mia penetrazione psicologica.

In queste condizioni, conviene ripetere ancora una volta gli stessi argomenti, ai quali potrò forse dar nuova forma senza nulla però mutare della sostanza, poichè mi sembra che non si sia neppur tentato di confutarli. Mi pare preferibile cercare qual può essere l'origine di questa differenza di mentalità che importa simile divergenza di vedute. Ho affermato che queste divergenze irriducibili non m'avevano meravigliato, che le avevo fin da principio previste, ma ciò non esime dal cercarne la spiegazione; si può

(1) Da *Dernières pensées*, Paris 1926, pp. 143 a 162.

prevedere un fatto in seguito a ripetute esperienze ed essere ciò nonpertanto imbarazzati a spiegarlo.

Cerchiamo dunque di studiare la psicologia di due scuole avverse, da un punto di vista puramente obiettivo, come se noi stessi ci trovassimo situati aldifuori di queste scuole, come se descrivessimo una guerra tra due formicai; constateremo anzitutto che presso i matematici ci son due tendenze opposte nel modo di considerare l'infinito. Per gli uni l'infinito deriva dal finito, c'è un infinito perché c'è un'infinità di cose possibili finite; per gli altri l'infinito preesiste al finito, il finito si ottiene tagliando un piccolo pezzo nell'infinito.

Un teorema deve poter essere verificato, ma poiché siamo noi stessi cose finite e non possiamo operare che su oggtti finiti, e poiché la nozione d'infinito ha la sua influenza nell'enunciato del teorema, occorre che nella dimostrazione si possa farne astrazione; altrimenti la verificazione sarà impossibile. Come esempi prenderò dei teoremi come questi: la successione dei numeri primi è illimitata, la serie $\sum \frac{1}{n^2}$ è convergente, eccetera; ciascun d'essi può tradursi in eguaglianze o diseguaglianze in cui non figurano che numeri finiti. Questi teoremi partecipano dell'infinito non perché una delle possibili verificazioni ne partecipi, ma perché le possibili verificazioni sono in numero infinito.

Enunciando il teorema, affermo che tutte queste verificazioni riuscirebbero; ben inteso che non si fanno tutte; ce ne sono alcune che chiamo possibili perché richiederebbero un tempo finito, ma che *praticamente* sarebbero impossibili perché richiederebbero anni di lavoro. Mi basta si possa concepire qualcuno ricco e pazzo abbastanza per farne il tentativo, pagando un congruo numero di ausiliari. La dimostrazione del teorema ha proprio lo scopo di rendere inutile simile follia.

Un teorema che non comporti alcuna conclusione verificabile ha senso? O, più generalmente, un qualsiasi teorema ha un senso aldifuori delle verificazioni che comporta? È qui che i matematici divergono.

Quelli della prima scuola, che chiamerò *Pragmatisti* visto che bisogna pure dar loro un nome, rispondono di no, e quando vien loro prospettato un teorema senza dare ad essi mezzo di verificarlo, essi lo considerano come trippa da gatti. Essi non vogliono prendere in considerazione altro che oggetti i quali possano esser definiti in un numero finito di parole; quando in un ragionamento si parla loro di oggetto *A* sodisfacente a certe condizioni, essi sottintendono un oggetto che sodisfa tali condizioni qual siansi le parole che si useranno per completarne la definizione, purché queste parole sieno in numero finito.

Quelli dell'altra scuola, che per abbreviare chiamerò dei *Cantoriani*, non intendono ammettier ciò; un uomo, per chiacchierone che sia, non pronuncerà mai nella vita più d'un miliardo di parole; escluderemo allora dalla Scienza gli oggetti la cui definizione contiene un miliardo e una parola? E se non li escludiamo, perché escluderemmo quelli i quali non possono definirsi se non con una infinità di parole, dato che la costruzione degli uni è come quella degli altri fuori di portata per l'umanità?

Questa argomentazione, ben inteso, lascia freddi i Pragmatisti. Per quanto un uomo possa esser ciarliero, l'umanità sarà ancor più ciarliera e siccome non sappiamo quanto tempo essa durerà, non possiamo anticipatamente delimitare il campo delle sue investigazioni; sappiamo solo che questo campo resterà sempre limitato; e quand'anche potessimo fissare la data della scomparsa, vi sono altri corpi celesti i quali potrebbero riprendere l'opera incompiuta sulla terra; del resto i Pragmatisti non ripugnerebbero dall'immaginare un'umanità molto più loquace della nostra ma conservante ancora qualcosa d'umano; ricusano soltanto di ragionare sull'ipotesi di non so qual divinità infinitamente loquace e suscettibile di pensare una infinità di parole in un tempo finito.

Gli altri, al contrario, pensano che le cose esistono, in una specie di grande emporio indipendentemente da qualsiasi umanità o qualsiasi divinità che possa parlarne o pensarci; che in tale emporio possiamo scegliere quel che ci pare, che indubbiamente non abbiamo abbastanza desideri o denaro sufficiente per comprar

tutto; ma che l'inventario dell'emporio è indipendente dalle risorse dei compratori.

E da questo malinteso iniziale scaturiscono tutte le divergenze particolari.

Prendiamo per esempio la teoria di Zermelo, secondo la quale lo spazio è suscettibile d'esser trasformato in un complesso ben ordinato; i Cantoriani saranno sedotti dal rigore, reale o apparente, della dimostrazione; i Pragmatisti invece obietterebbero: — Voi dite di poter trasformare lo spazio in un insieme ben ordinato; ebbene, trasformatelo! — Ma sarebbe un affare troppo lungo.... — Allora mostrateci almeno che, uno il quale avesse tempo e pazienza abbastanza, potrebbe fare la trasformazione. — No, non possiamo, perché il numero di operazioni da eseguire è infinito, più grande perfino di *alefzero*. — Potreste però mostrarci come esprimere in un numero finito di parole la legge che permetterebbe d'ordinare lo spazio. — No.... — E i Pragmatisti ne concluderebbero che il teorema è privo di senso, o falso, o almeno indimostrabile.

I Pragmatisti guardano dal punto di vista dell'estensione e i Cantoriani da quello della comprensione. Quando si tratta d'una collezione finita, questa distinzione non può che interessare i teorici della logica formale; ma apparisce come molto più profonda quando concerne collezioni infinite. Ponendosi dal punto di vista dell'estensione, una collezione si costituisce per addizione successiva di nuovi termini; possiamo combinare i primitivi oggetti e costruire oggetti nuovi, poi, con questi, altri oggetti ancor più nuovi e se la collezione è infinita è perché non c'è ragione di fermarsi.

Dal punto di vista della comprensione, al contrario, si parte dalla collezione in cui si trovano degli oggetti preesistenti, che dapprima ci appaiono indistinti; ma poi si finisce per riconoscerne alcuni perché attacchiamo ad essi delle etichette e li disponiamo in casellari; gli oggetti, però, sono anteriori alle etichette e la collezione esisterebbe anche se non ci fosse alcun ordinatore a classificarla.

Per i Cantoriani la nozione di numero cardinale non implica mistero. Due collezioni hanno lo stesso numero cardinale quando si può disporle nelle stesse cassette; nulla di più facile poiché le due collezioni preesistono e si può del pari considerare preesistente una collezione di cassetti indipendente dall'ordinatore incaricato di disporvi gli oggetti. Per i Pragmatisti non è la stessa cosa; la collezione non preesiste, ma si arricchisce di giorno in giorno: oggetti nuovi vi si aggiungono incessantemente, che si sarebbero potuti definire senza appoggiarsi sulla nozione degli oggetti già anteriormente classificati e sulla maniera con cui son disposti. Ad ogni nuova aggiunta, l'ordinatore può esser costretto a disordinare i suoi cassetti per trovare il modo di collocarla: mai si saprà se due collezioni possono collocarsi negli stessi cassetti, poiché sempre si potrà temere che occorra buttarli all'aria.

Per esempio, i Pragmatisti non ammettono che gli oggetti i quali possono esser definiti in un numero finito di parole; le definizioni possibili, esprimibili mediante frasi, possono sempre esser numerate con dei numeri ordinari da uno all'infinito. In questo computo non ci sarebbe che un sol numero cardinale infinito possibile, il numero *alefzero;* perché allora diciamo che la potenza del continuo non è quella dei numeri interi? Sì, essendo dati tutti i punti dello spazio che sappiamo definire con parole in numero finito, sappiamo anche immaginare una legge, essa stessa esprimibile con un numero finito di parole, che li fa corrispondere alla successione dei numeri interi; ma consideriamo ora dalle frasi in cui figuri la nozione di questa legge di corrispondenza; finora esse non avevano senso alcuno poiché questa legge non era ancora stata inventata ed esse non potevano quindi servire a definire dei punti nello spazio; ora, invece, esse hanno acquistato un senso, esse ci permetteranno di definire dei nuovi punti dello spazio; ma questi punti nuovi non troveranno più posto nella classificazione adottata, il che ci costringerà a rimetterla in disordine. Ed è ciò che vogliamo dire, secondo i Pragmatisti, quando diciamo che la potenza del continuo non è quella dei numeri interi. Vogliamo dire che è impossibile stabilire fra i due complessi una legge di

corrispondenza che sia al sicuro da questa specie di sconvolgimento; mentre lo si può fare, per esempio, quando si tratta d'una retta e d'un piano.

E allora i Pragmatisti non sono certi che un insieme qualsiasi abbia, propriamente parlando, un numero cardinale; oppure, che essendo dati due complessi, si possa sempre sapere se hanno la stessa potenza, o se l'uno ha potenza più grande dell'altro. Essi sono indotti, così, a dubitare dell'esistenza di *alef-uno*.

Altra sorgente di divergenza viene dal modo di concepire la definizione. Ci sono più specie di definizioni; la definizione diretta, si può fare sia per *genus proximum et differentiam specificam*, sia per costruzione.

Osserviamo di passaggio che esistono definizioni incomplete nel senso che esse definiscono non un individuo, ma tutto un intero genere; esse sono legittime e anzi son proprio quelle di cui si fa uso più frequentemente; ma secondo i Pragmatisti, si deve sottindere l'insieme degli individui che sodisfano alla definizione e che si potrebbe completamente definire in un numero finito di vocaboli; per i Cantoriani questa restrizione è artificiosa e priva di significato.

Se non ci fossero che definizioni dirette, l'importanza della logica pura non potrebbe esser contestata; si potrebbe allora, in una proposizione qualsiasi, sostituire ciascun termine con la rispettiva definizione; terminata simile sostituzione, o la proposizione non si ridurrebbe a un'identità, e allora non sarebbe logica, oppure si ridurrebbe a una identità, e in tal caso essa non sarebbe se non una tautologia più o meno abilmente camuffata.

C'è però un altro genere di definizioni, quelle per postulati. Generalmente sapremo che l'oggetto da definire appartiene a un genere, ma quando si tratterà di enunciare la differenza specifica, la si enuncierà non direttamente bensì con l'aiuto di un *postulato* al quale l'oggetto definito dovrà sodisfare. È così che i matematici possono definire una quantità di $x$ mediante un'equazione esplicita $x = f(y)$, o con un'equazione implicita $F(x, y) = 0$.

La definizione con postulato non ha valore se non quando si

è dimostrata l'esistenza dell'oggetto definito; in linguaggio matematico, ciò vuol dire che il postulato non implica contradizione. Non è ammesso negligere questa condizione; si può o ammettere l'assenza di contradizione come verità intuitiva, come assioma, per una specie d'atto di fede, ma allora bisogna rendersi conto di quel che si fa e sapere che s'è allungato l'elenco degli assiomi indimostrabili; oppure bisogna costruire una regolare dimostrazione, sia mediante esempi, sia impiegando il ragionamento per ricorrenza. Non che la dimostrazione sia meno necessaria quando si tratta d'una definizione diretta, ma essa è generalmente più facile.

Alcuni Pragmatisti saranno ancor più esigenti: affinché essi considerino legittima una definizione, non basterà loro che essa non conduca a contradizioni in termini, occorrerà loro anche che essa abbia un senso, secondo il loro particolare punto di vista che avanti ho cercato di definire.

Come che sia, la logica rimarrà dunque sterile dopo l'introduzione delle definizioni mediante postulati? Non possiamo più, data una proposizione, sostituire un termine con la rispettiva definizione; tutto quello che possiamo fare è di *eliminare* questo termine fra la proposizione ed il postulato che gli tien luogo di definizione. Se questa operazione, fatta secondo ciò che si potrebbe chiamare regola d'eliminazione logica, non ci porta a un'identità, ne consegue che la proposizione è indimostrabile con la logica pura; se invece ci porta a una identità, allora la proposizione non è che una tautologia. Nulla quindi da cambiare nelle conclusioni cui già eravamo giunti.

C'è però una terza specie di definizioni, il che è l'origine di un nuovo malinteso fra Pragmatisti e Cantoriani. Trattasi ancora di definizioni per postulato, ma il postulato è qui una relazione fra l'oggetto da definire e tutti gl'individui d'un genere di cui l'oggetto da definire è supposto esso stesso far parte (ovvero di cui è supposto facciano parte degli esseri i quali non possono essi medesimi esser definiti se non mediante l'oggetto da definire).

È quel che avviene se poniamo i due postulati seguenti:

X (oggetto da definire) ha la tal relazione con *tutti* gl'individui del genere G;

X fa parte del genere G.

Oppure i tre seguenti postulati:

X ha la tale relazione con *tutti* gli individui del genere G;

Y ha con X simile relazione;

Y fa parte di G.

Pei Pragmatisti una simile definizione implica un circolo vizioso. Non si può definire X senza conoscer tutti gl'individui del genere G, e per conseguenza senza conoscere X il quale è uno di tali individui. I Cantoriani non ammettono ciò; il genere G è dato, e per conseguenza ne conosciamo *tutti* gl'individui e la definizione ha il solo fine di *discernere* fra questi individui quello che ha con tutti i suoi compagni la relazione enunciata.

No!, rispondono gli avversari, la conoscenza del genere non vi fa conoscere tutti i suoi individui; essa vi dà soltanto la possibilità di costruirli tutti, o, piuttosto, di costruirne tanti quanti ne volete. Essi esisteranno soltanto dopo esser stati costruiti, vale a dire dopo che saranno stati definiti. X non esiste che per la sua definizione, la quale non ha senso che se si conoscono preliminarmente tutti gl'individui di G e in particolare X. A nulla servirebbe dire, aggiungono essi, che non è un circolo vizioso il definire X mediante la sua relazione con G, che tal relazione è insomma un postulato che può servire per definire X; perché occorrerebbe anzitutto stabilire che tal postulato non implica contradizione, ma non è usualmente ciò che si fa in questa specie di definizioni. Si dimostra prima che qualunque sia il genere G, i cui individui sono supposti tutti conosciuti, esiste un essere X che con questo genere ha la relazione in questione, vale a dire che l'esistenza di questo essere non implica contradizione; resterebbe da mostrare che non c'è contradizione fra l'esistenza di questo essere e l'ipotesi che tale essere faccia anch'esso parte del genere.

La discussione potrebbe continuare a lungo; ma il punto che vorrei porre in evidenza è che se questa specie di definizioni fosse

ammessa, la logica non sarebbe più sterile, e la prova n'è che in questo modo è stata costruita una folla di ragionamenti destinati a dimostrare proposizioni le quali non erano affatto tautologie dato che c'è della gente che si domanda se esse son false.

E allora si ammira il potere che può avere una parola. Ecco un oggetto di cui nulla si sarebbe potuto fare perché non era battezzato; è bastato dargli un nome perché facesse meraviglia. Come avviene tutto ciò? È perché dandogli un nome abbiamo implicitamente affermato che l'oggetto esiste (vale a dire che era immune di contradizione) e che era completamente determinato. Tutto questo nulla ha che fare con le pretese di Pragmatisti. Qual'è dunque il meccanismo che rende feconda la dimostrazione? È semplice. Si nega la proposizione da dimostrare e si mostra che ci si trova in contradizione con l'esistenza dell'oggetto X; e ciò non è legittimo se non quando si è certi di questa esistenza e, d'altra parte, se si sa che l'oggetto è completamente determinato.

Infatti se X si deduce dal genere G, è per definizione; che se poi si completa il genere G aggiungendovi l'oggetto X e altri individui dello stesso genere che possono derivarne; che se si chiama G′ il genere così completato e X′ ciò che potrà dedursi da G′ per definizione, nello stesso modo che X è dedotto da G, bisogna esser certi che X′ è identico a X. Ove così non fosse e, negando la proposizione da dimostrare, si fosse condotti a due enunciati contraditori

$$\phi_1(X) = 0 \qquad \phi_2(X) = 0$$

come potrebbe sapersi che il medesimo X sta a figurare nell'uno e nell'altro? Se X figurasse nell'uno e X′ nell'altro, le due proposizioni si scriverebbero

$$\phi_1(X) = 0 \qquad \phi_2(X') = 0$$

e non sarebbero più contraditori in generale.

Perché dunque i Pragmatisti fanno simile obiezione? È perché il genere G non appare loro che come una collezione suscettibile d'accrescersi indefinitamente, di mano in mano che si costrui-

ranno nuovi individui dotati di convenienti caratteristiche; perciò G non può mai esser posto *ne varietur*, come fanno i Cantoriani, e non si è certi che, con le nuove aggiunte, non diventerà G'.

Mi sono sforzato, con la possibile chiarezza e imparzialità, di spiegare in che consistano le divergenze fra le due scuole di matematici; mi sembra che possiamo già scorgere la causa vera: gli scienziati delle due scuole hanno tendenze mentali opposte. Quelli che ho chiamato Pragmatisti sono degli idealisti, i Cantoriani sono dei realisti.

C'è qualcosa che ci confermerà in questa veduta. Abbiamo visto che i Cantoriani (mi si consenta questa comoda parola benché io intenda parlare qui non dei matematici che seguono la via aperta da Cantor, e forse nemmeno dei filosofi che a lui si riconnettono, bensì di coloro che hanno le stesse tendenze in una maniera indipendente), che i Cantoriani, dicevo, parlano costantemente di epistemologia, vale a dire di scienza delle scienze; è inteso che questa epistemologia è completamente indipendente dalla psicologia; in altri termini, che essa deve apprenderci ciò che sarebbero le scienze se non ci fossero scienziati, che noi dobbiamo studiare le scienze non certo supponendo che non ci sono scienziati, ma supponendo almeno che ce ne sono. Così, non solo la Natura è una realtà indipendente dal fisico indotto a studiarla, ma anche la fisica è una realtà che sussisterebbe se pure non vi fossero fisici. E questo, appunto, è realismo.

Ma perché i Pragmatisti rifiutano d'ammettere oggetti i quali non possano definirsi con un numero finito di parole? Perché essi considerano che un oggetto non esiste se non quando può esser pensato, e non sanno concepire un oggetto pensato indipendentemente da un soggetto pensante. E questo è idealismo. E siccome un soggetto pensante è un uomo, o qualcosa che all'uomo somiglia, vale a dire un essere finito, l'infinito non può avere altro senso che la possibilità di creare tanti oggetti finiti quanti se ne vuole.

E allora si può far notare una cosa curiosa. I realisti si collocano usualmente dal punto di vista fisico; sono gli oggetti materiali,

o le anime individuali, o ciò ch'essi chiamano sostanze, quello di cui affermano l'indipendente esistenza. Il mondo, per essi, esisteva prima della creazione dell'uomo, prima anche della creazione degli esseri viventi; ed esisterebbe anche se non ci fosse né Dio né alcun soggetto pensante. Questo è il punto di vista del senso comune e non è che con la riflessione che si può essere indotti ad abbandonarlo. I partigiani del realismo fisico sono in generale finalisti; nella questione delle antinomie kantiane, essi tengono per le tesi; credono che il mondo sia limitato. Tale è, per esempio, la maniera di vedere di Evellin. Al contrario gl'idealisti non hanno le stesse ripugnanze e son pronti a sottoscrivere alle antitesi.

Ma i Cantoriani sono realisti anche in ciò che concerne le entità matematiche; queste entità sembrano loro avere un'esistenza indipendente; il geometra non le crea, le scopre. Questi oggetti, allora, esistono senza esistere, potrebbe dirsi, poiché si riducono a pure essenze. Ma siccome, per loro natura, questi oggetti sono in numero infinito, i partigiani del realismo matematico sono molto più « infinitisti » che non gl'idealisti; il loro infinito non è più un divenire, poiché preesiste allo spirito che lo scopre; che lo ammettano o lo neghino, bisogna dunque che essi credano ad un infinito attuale.

Si riconosce in questo la teoria delle idee di Platone; e può sembrare strano veder Platone collocato fra i realisti; eppure nulla è più opposto all'idealismo contemporaneo che il platonismo, benché questa dottrina sia del pari lontanissima dal realismo fisico.

Non ho mai conosciuto matematico più realista, nel senso platoniano, di Hermite; e non pertanto devo confessare che non ne ho incontrati di più refrattari al Cantorismo. V'è in ciò un'apparente contradizione, tanto più ch'egli volentieri ripeteva: — Sono anti-Cantoriano *perché* sono realista. — Rimproverava a Cantor di creare degli oggetti anziché contentarsi di scoprirli. Senza dubbio a causa delle sue convinzioni religiose, egli considerava come una specie d'empietà il voler penetrare pedestramente in un dominio che Dio soltanto può abbracciare, e il non attendere che i misteri ce ne siano uno ad uno rivelati. Egli comparava

le scienze matematiche alle scienze naturali. Un naturalista che cercasse d'indovinare il segreto di Dio, in luogo di consultar l'esperienza, gli pareva non solo presuntuoso, ma irrispettoso della divina maestà; i Cantoriani gli sembravano agire nella stessa guisa nelle matematiche. Ed è perciò che, realista in teoria, era in pratica un idealista. C'è una realtà da conoscere, anteriore a noi e da noi indipendente; ma tutto quel che possiamo saperne dipende da noi, e non è se non un divenire, una specie di stratificazione di conquiste successive. Il resto è reale, ma eternamente inconoscibile.

Del resto il caso di Hermite è isolato e non voglio più oltre dilungarmi. In ogni tempo ci sono state nella filosofia delle tendenze opposte e non pare che tali tendenze sieno sul punto di conciliarsi. È indubbiamente perché esistono anime differenti e nulla a queste anime c'è dato cambiare. Perciò non v'è speranza di vedere stabilito un accordo fra Pragmatisti e Cantoriani. Gli uomini non s'intendono perché non tutti parlano la stessa lingua, e vi sono lingue che non s'imparano.

Eppure, nelle matematiche essi usano intendersi; ma è appunto grazie a ciò che ho chiamato verificazioni; esse giudicano in ultima istanza e tutti s'inchinano dinanzi ad esse. Però, dove queste verificazioni mancano, i matematici non vanno più avanti dei semplici filosofi. Quando si tratta di sapere se un teorema può avere un senso pur non essendo verificabile, chi potrà giudicare se per definizione il verificare è interdetto? Non vi sarebbe altra risorsa se non di pescare l'avversario in contradizione. Ma l'esperienza è stata fatta e non è riuscita.

Molte antinomie sono state segnalate, e il disaccordo ha continuato a sussistere e nessuno s'è convinto; da una contradizione è facile togliersi con qualche volontario espediente; intendo con qualche *distinguo*.

## SCIENZA E IPOTESI [1]

Per un osservatore superficiale la verità scientifica non può essere posta in dubbio; la logica della scienza è infallibile e, se gli scienziati qualche volta sbagliano, ciò avviene perché non ne hanno rispettato le regole.

Le verità matematiche derivano da un piccolo numero di proposizioni evidenti attraverso una catena di ragionamenti impeccabili; esse si impongono non soltanto a noi ma anche alla stessa natura. Esse incatenano per così dire il Creatore e gli permettono soltanto di scegliere fra alcune soluzioni, relativamente poco numerose. Basteranno allora poche esperienze per farci sapere quale scelta egli ha fatto. Da ogni esperienza molte conseguenze potranno uscire attraverso una serie di deduzioni matematiche, ed è così che ciascuna di esse ci farà conoscere un angolo dell'Universo.

Ecco quale è per molta gente e per gli alunni liceali che ricevono le prime nozioni di fisica, l'origine della certezza scientifica. Ecco come essi intendono il compito dell'esperimentazione e quello delle matematiche. Ed è proprio così che l'intendevano, cento anni fa, molti scienziati che sognavano di costruire il mondo col minor numero possibile di materiali presi a prestito dalla esperienza.

Ma dopo aver riflettuto un poco si vede quanto è grande

---

(1) Da *La Scienze et l'Hypothèse*, Paris 1925, pp. 1 a 7. Introduzione.

il posto che tiene la *ipotesi*; e si vede che della ipotesi il matematico non può fare a meno, come non può farne a meno lo sperimentatore. E allora ci siamo chiesti se tutte quelle costruzioni erano veramente solide e s'è creduto che un soffio sarebbe bastato ad abbatterle. Essere così scettici è ancora un modo d'essere superficiali. Dubitare di tutto e credere a tutto sono due soluzioni egualmente comode, ché tanto l'una che l'altra ci dispensano dal riflettere.

Invece di pronunciare una condanna sommaria noi dobbiamo dunque esaminare con cura l'ufficio della ipotesi, e riconosceremo allora non soltanto che essa è necessaria, ma che è quasi sempre legittima. Vedremo anche che vi sono più specie di ipotesi: che alcune sono verificabili e che una volta confermate dalla esperienza diventano verità feconde; che altre, senza poter indurci in errore, ci possono essere utili per determinare il nostro pensiero; che altre infine sono ipotesi solo in apparenza e si riducono a definizioni o a convenzioni mascherate.

Queste ultime si trovano soprattutto nelle matematiche e nelle scienze che le toccano. È proprio di lì che quelle scienze traggono il loro rigore; quelle convenzioni sono l'opera della libera attività del nostro spirito, che in quel dominio non conosce ostacoli. Là il nostro spirito può affermare perché decreta; ma intendiamoci: quei decreti si impongono alla *nostra* scienza, che, senza di essi, sarebbe impossibile; non si impongono alla natura. Tali decreti sono dunque arbitrari? No, giacché se così fosse sarebbero sterili. L'esperienza ci lascia la nostra libera scelta, ma la guida aiutandoci a discernere il cammino più comodo. I nostri decreti sono dunque come quelli di un principe assoluto, ma saggio, che consulta il suo Consiglio di Stato.

Qualcheduno è stato colpito da quel carattere di libera convenzione che si trova in certi principi fondamentali delle scienze; ed ha voluto generalizzare un po' troppo dimenticando che la libertà non è l'arbitrio. Si è giunti così al *nominalismo* e si è giunti fino a domandarci se veramente lo scienziato non fosse ingannato e illuso dalle sue stesse definizioni, talché il mondo

che egli crede scoprire altro non fosse che una creazione del suo capriccio. Se così fosse la scienza avrebbe i caratteri di una certezza ma non avrebbe nessuna portata. Sarebbe impotente. Ora, noi la vediamo tutti i giorni agire sotto i nostri occhi. E ciò non potrebbe avvenire se essa non ci facesse conoscere qualche-cosa della realtà; ma ciò che la scienza può raggiungere non sono le cose in se stesse come credono i dogmatisti ingenui, bensì i rapporti fra le cose, e soltanto quelli. Al di fuori di quei rapporti non esiste realtà conoscibile.

Questa è la conclusione alla quale giungeremo, ma per far ciò dovremo percorrere la serie delle scienze dalla aritmetica e la geometria fino alla meccanica e la fisica sperimentale.

Qual'è la natura del ragionamento matematico? È realmente deduttivo come ordinariamente si crede? Una analisi approfondita ci mostra di no e ci fa vedere che partecipa in una certa misura del ragionamento induttivo, e che appunto per questo è fecondo, e che nondimeno conserva il suo carattere di assoluto rigore. Questo è ciò che dovremo mostrare anzitutto. E conoscendo meglio uno degli strumenti che le matematiche pongono in mano al ricercatore, dovremo analizzare un'altra nozione fondamentale: quella di grandezza matematica. La troviamo noi nella natura, o siamo noi a introdurvela? E, in quest'ultimo caso, non rischiamo di falsar tutto? Confrontando i dati bruti dei nostri sensi con quel concetto estremamente complesso e sottile che i matematici chiamano grandezza, noi siamo obbligati a riconoscere una divergenza; quella cornice nella quale vogliamo far entrar tutto siamo dunque noi che la abbiamo fatta; sì, ma non l'abbiamo fatta a caso, la abbiamo fatta per così dire su misura ed è per questo che possiamo farvi entrare i fatti senza snaturare ciò che essi hanno di più essenziale.

Un'altra cornice che imponiamo al mondo è lo spazio. Di dove vengono i primi principi della geometria? Ci sono imposti dalla logica? Lobacewsky ha dimostrato di no creando le geometrie non euclidee. Lo spazio ci è rivelato dai nostri sensi? Nemmeno, giacché lo spazio che i nostri sensi possono mostrarci

differisce assolutamente da quello del geometra. La geometria deriva dalla esperienza? Una discussione approfondita ci mostrerà di no. Noi concluderemo dunque che quei principî non sono che delle convenzioni; ma queste convenzioni non sono arbitrarie, e trasportate in un altro mondo (che io chiamo il mondo non euclideo e che cerco di immaginare) noi saremmo stati indotti ad adottarne altre.

In meccanica saremmo condotti ad analoghe conclusioni e vedremmo che i principi di questa scienza, quantunque più direttamente appoggiati sull'esperienza, partecipano ancora del carattere convenzionale dei postulati geometrici. Fin qui il nominalismo trionfa, ma arrivando alle scienze fisiche propriamente dette la scena cambia; qui incontriamo un'altra specie di ipotesi e ne vediamo tutta la fecondità. Senza dubbio a un primo esame le teorie ci sembrano fragili, e la storia della scienza ci prova che esse sono effimere: ma esse non muoiono del tutto e di ciascuna d'esse resta qualchecosa. Ed è quel « qualcosa » che bisogna discernere perché lì e lì solamente è la vera realtà.

Il metodo delle scienze fisiche si basa sulla induzione la quale ci fa aspettare la ripetizione di un fenomeno quando si riproducono le circostanze nelle quali quel fenomeno altra volta si era verificato. Se *tutte* le circostanze potessero sempre riprodursi contemporaneamente, quel principio potrebbe essere applicato senza timore; ma ciò non succede; qualcheduna di quelle circostanze mancherà sempre. Siamo noi assolutamente sicuri che esse sono senza importanza? Evidentemente no.

Ciò potrà essere verosimile; non potrà essere rigorosamente certo.

Di qui la parte considerevole che rappresenta nelle scienze fisiche la nozione di probabilità. Il calcolo delle probabilità non è dunque soltanto una ricreazione o una guida per i giocatori di baccarà, e noi dobbiamo cercare di approfondirne i principi. Sotto questo aspetto non ha potuto dare che dei resultati assai incompleti, tanto è ribelle all'analisi quel vago istinto che ci fa discernere la verosimiglianza.

Dopo avere studiato le condizioni nelle quali lavora il fisico, ho creduto di doverlo mostrare all'opera. Per far questo ho preso qualche esempio nella storia dell'ottica e in quella della elettricità. Vedremo di dove sono uscite le idee di Fresnel, quelle di Maxwell, e quali ipotesi incoscienti facevano Ampère e gli altri fondatori della elettrodinamica.

## L'EVOLUZIONE DELLE LEGGI (1)

Il Boutroux nei suoi lavori sulla contingenza delle leggi della natura, si è chiesto se le leggi naturali non sieno suscettibili di cambiare, se mentre il mondo evolve continuamente, soltanto le leggi, cioè a dire le regole secondo le quali si compie quella evoluzione, sieno esenti da qualsiasi variazione.

Una simile concezione non ha nessuna probabilità di essere mai adottata dagli scienziati; nel solo senso in cui la intenderebbero, essi non potrebbero aderirvi senza negare la legittimità e la possibilità stessa della Scienza. Ma il filosofo conserva il diritto di porsi la questione, di vedere quali soluzioni essa comporta, di esaminarne le conseguenze, e di cercare di conciliarle con le legittime esigenze dello scienziato. Io vorrei considerare qualcuno degli aspetti che il problema può assumere; così sarò condotto non a conclusioni propriamente dette, ma a diverse riflessioni che forse non saranno prive di interesse. E vorrete perdonarmi se cammin facendo mi lascierò andare a discorrere un po' a lungo di certe questioni connesse.

### I.

Anzitutto poniamoci dal punto di vista del matematico. Ammettiamo per un istante che le leggi abbiano subito delle variazioni attraverso le età, e domandiamoci se avremmo il modo di accorgercene. Non dimentichiamo prima d'ogni altra cosa.

---

(1) Da *Dernières Pensées*, Paris 1926, pp. 5 a 32.

che i secoli durante i quali l'umanità ha vissuto e pensato sono stati preceduti da periodi incomparabilmente più lunghi, durante i quali l'uomo non viveva ancora; che d'altronde saranno seguiti senza dubbio da altri periodi in cui l'umanità sarà scomparsa. Se si vuol credere a una evoluzione delle leggi, essa non può essere, senza contradizione possibile, che assai lenta, di modo che nei pochi anni durante i quali abbiamo pensato, le leggi non hanno potuto subire che dei cambiamenti insignificanti. Se le leggi hanno evoluto nel passato, bisogna intendere per passato il passato geologico. Le leggi di una volta erano esse quelle di oggi, le leggi di domani saranno ancora le stesse? Quando si pone una simile domanda, che senso dovremo dare alle parole *una volta, oggi, domani? Oggi* sono i tempi di cui la storia ha consacrato il ricordo; *una volta* sono i milioni di anni che hanno preceduto la storia, quando gli ittiosauri vivevano tranquillamente senza filosofare; *domani* sono i milioni di anni che verranno dopo, quando la Terra sarà divenuta fredda e l'uomo non avrà più occhi per vedere e cervello per pensare.

Ciò posto, che cos'è una legge? È un legame costante fra l'antecedente e il conseguente, fra lo stato attuale del mondo e il suo stato immediatamente posteriore. Conoscendo lo stato attuale di ciascuna parte dell'universo, lo scienziato ideale che conoscesse tutte le leggi della natura, possederebbe delle regole fisse per dedurne lo stato in cui quelle stesse parti si troverebbero domani; e si capisce come questo processo possa essere proseguito indefinitamente. Dallo stato del mondo nel lunedì si dedurrà quello di martedì; conoscendo quello di martedì se ne dedurrà con i medesimi procedimenti quello del mercoledì, e così via di seguito. Ma questo non è tutto; se c'è un legame costante fra lo stato del lunedì e quello del martedì, potremo dedurre il secondo dal primo; e si potrà fare l'inverso, cioè a dire che se si conosce lo stato di martedì, se ne potrà dedurre quello del lunedì e si dedurrà egualmente quello della domenica; e così via di seguito; si può risalire il corso del tempo così come lo si può discendere. Col presente e le leggi, si può indovinare l'av-

venire, ma si può egualmente indovinare il passato. Il processo è essenzialmente reversibile.

Giacché ci poniamo qui dal punto di vista del matematico, bisogna dare a questa concezione tutta la precisione che essa comporta, dovessimo pure per questo impiegare il linguaggio matematico. Diremo dunque che l'insieme delle leggi equivale a un sistema di equazioni differenziali che legano le velocità delle variazioni dei diversi elementi dell'universo ai valori attuali di questi elementi.

Un simile sistema comporta, come si sa, una infinità di soluzioni; ma se fissiamo i valori iniziali di tutti gli elementi, cioè i valori all'istante $t = 0$, (ciò che nel linguaggio ordinario chiamiamo presente) la soluzione si trova interamente determinata, di modo che possiamo calcolare i valori di tutti gli elementi a un'epoca qualsiasi, sia che si supponga $t > 0$ (ciò che corrisponde all'avvenire) sia che si supponga $t < 0$ (ciò che corrisponde al passato). Quel che importa è di ricordarsi che il modo di concludere dal presente al passato non differisce dal modo di concludere dal presente all'avvenire.

Allora, che modo abbiamo noi di conoscere il passato geologico, cioè a dire la storia dei tempi nei quali le leggi avrebbero potuto una volta variare? Quel passato non lo abbiamo potuto osservare direttamente e noi non lo conosciamo che attraverso le traccie che ha lasciato nel presente, non lo conosciamo che attraverso il presente e non lo possiamo dedurre che attraverso il processo che abbiamo ora descritto, e che ci permetterebbe egualmente di dedurne l'avvenire. Ora, è capace questo procedimento di rivelarci dei cambiamenti nelle leggi? Evidentemente no; noi non possiamo appunto applicarlo se non supponendo che le leggi non hanno cambiato; per esempio non conosciamo direttamente che lo stato del lunedì e le regole che legano lo stato della domenica a quello del lunedì; l'applicazione di queste regole ci farà conoscere lo stato della domenica; ma se ci vogliamo spingere più lontano e dedurne lo stato del sabato, bisogna per assoluta necessità ammettere che le stesse regole che ci hanno

permesso di risalire dal lunedì alla domenica, erano ancora valevoli fra la domenica e il sabato. Senza di ciò la sola conclusione che ci sarebbe permessa è che è impossibile di sapere ciò che è successo il sabato. Se allora la immutabilità delle leggi figura nelle premesse di tutti i nostri ragionamenti, non possiamo non trovarla nelle nostre conclusioni.

Un Leverrier, conoscendo le orbite attuali dei pianeti, calcola, servendosi della legge di Newton, ciò che quelle orbite saranno divenute fra 10.000 anni. In qualsiasi modo egli diriga i suoi calcoli, non potrà mai trovare che la legge di Newton sarà falsa fra qualche migliaio di anni. Avrebbe potuto, semplicemente cambiando il segno del tempo nelle sue formule, calcolare ciò che erano quelle orbite 10.000 anni fa; ma è anticipatamente certo di non trovare che la legge di Newton non è stata sempre vera.

Riassumendo, non possiamo saper qualcosa del passato che a una condizione: ammettere che le leggi non sono cambiate; se noi l'ammettiamo, la questione della evoluzione delle leggi non si pone; se non lo ammettiamo, la questione è insolubile; come tutte quelle che si riferiscono al passato.

## II.

Ma, si dirà: non potrebbe darsi che l'applicazione del procedimento precedente conducesse a una contradizione, o, se si vuole, che le nostre equazioni differenziali non ammettessero alcuna soluzione? Poiché l'ipotesi della immutabilità delle leggi posta all'inizio di tutti i nostri ragionamenti, condurrebbe a una conseguenza assurda, noi avremmo dimostrato *per absurdum* che le leggi hanno evoluto, pur essendo impotenti per sempre a sapere in qual senso.

Siccome il nostro procedimento è reversibile, ciò che ora abbiamo detto si applica all'avvenire, e sembra che vi sieno dei casi nei quali noi potremmo affermare che prima della tale data il mondo deve perire o cambiare le sue leggi, se, per esempio, il calcolo ci mostra che a quella data una delle quantità che dobbiamo prendere in considerazione deve divenire infinita, o as-

sumere un valore fisicamente impossibile. Perire o cambiare le proprie leggi è press'a poco la stessa cosa; un mondo che non avesse più le leggi del nostro, non sarebbe più il nostro mondo, sarebbe un altro mondo.

È possibile che lo studio del mondo attuale e delle sue leggi ci conduca a delle formule esposte a simili contradizioni? Le leggi sono ottenute con l'esperienza; se esse ci insegnano che lo stato A di domenica conduce allo stato B del lunedì, è perché abbiamo osservato i due stati A e B; dunque nessuno dei due stati è fisicamente impossibile. Se noi proseguiamo il procedimento, e se concludiamo passando ogni volta da un giorno al giorno seguente, dallo stato A allo stato B, poi dallo stato B allo stato C, poi dallo stato C allo stato D ecc., è perché tutti questi stati sono fisicamente possibili; giacché se per esempio lo stato D non lo fosse, non avremmo mai potuto fare una esperienza provante che lo stato C genera in capo a un giorno lo stato D. Per quanto le deduzioni siano spinte il più lontano possibile, non si arriverà dunque mai a uno stato fisicamente impossibile, cioè a una contradizione. Se una delle nostre formule non ne fosse esente, vorrebbe dire che avremmo sorpassato la esperienza che avremmo estrapolato.

Supponiamo per esempio d'avere osservato che in tale o tal'altra circostanza la temperatura di un corpo abbassi di un grado al giorno; se per esempio essa è attualmente di 20°, ne concluderemo che fra 300 giorni sarà di — 280°; e ciò sarà assurdo, fisicamente impossibile perché lo zero assoluto è — 273°. Che significa ciò? Avevamo osservato che la temperatura passava in un giorno da — 279° a — 280°? No, indubbiamente, giacché quelle due temperature non sono osservabili. Avevamo visto che la legge era vera con grande approssimazione fra 0° e 20° e ne avevamo abusivamente concluso che doveva esser vera anche fino a — 273° e anche oltre; avevamo fatto una estrapolazione illegittima. Ma c'è una infinità di modi di estrapolare una formula empirica, e fra questi modi se ne può sempre scegliere uno che escluda gli stati fisicamente impossibili.

Noi non conosciamo le leggi che imperfettamente; l'esperienza non fa che limitare la nostra scelta, e fra tutte le leggi che essa ci permette di scegliere, ne troveremo sempre qualcuna che non ci esponga a una contradizione del genere di quelle di cui abbiamo ora parlato e che potrebbero obbligarci a concludere contro la immutabilità. Questo modo di dimostrare una simile evoluzione ci sfugge ancora, tanto che si tratti di dimostrare che le leggi cambieranno, quanto che esse hanno cambiato.

III.

Arrivati a questo punto ci si può opporre un argomento di fatto. « Voi dite che cercando di risalire, grazie alla conoscenza delle leggi, dal presente al passato, non ci urteremo mai in una contradizione, eppure gli scienziati ne hanno incontrate di quelle da cui non sembra sia tanto facile liberarsi. Che non sieno che apparenti, che si possa sperare di evitarle, ve lo accordiamo; ma secondo il vostro ragionamento nemmeno una contradizione apparente dovrebbe essere possibile ».

Citiamo subito un esempio: se si calcola, secondo le leggi della termodinamica, il tempo durante il quale il Sole ha potuto versarci il suo calore, troviamo una cifra di circa 50 milioni di anni. Ebbene questo tempo non può bastare ai geologhi; perché non solamente l'evoluzione delle forme organiche non ha potuto effettuarsi così presto — e su questo punto si potrebbe discutere — ma il deposito degli strati dove si trovano i resti dei vegetali o degli animali che non hanno potuto vivere senza sole, ha richiesto un numero d'anni forse dieci volte maggiore.

Ciò che ha reso possibile questa contradizione è che il ragionamento sul quale posa l'evidenza geologica differisce molto da quello del matematico.

Osservando effetti identici noi concludiamo che le cause sono identiche; e per esempio ritrovando i resti fossili di animali appartenenti a una famiglia attualmente vivente noi concludiamo che all'epoca nella quale s'è deposto lo strato che contiene quei fossili, le condizioni senza le quali gli animali di quella fami-

gia non sarebbero potuti vivere, erano *tutte insieme* realizzate.

Sulle prime era proprio la stessa cosa che faceva il matematico del quale avevamo adottato il punto di vista nel precedente paragrafo; anche esso concludeva che siccome le leggi non avevano mutato, gli stessi identici effetti non potevano essere stati prodotti che da identiche cause. Ma c'è una differenza essenziale.

Consideriamo lo stato del mondo a un dato istante e quello a un istante anteriore; lo stato del mondo o anche quello di una piccolissima parte del mondo è qualchecosa di estremamente complesso e che dipende da un grandissimo numero di elementi. Supponga, per semplificare, due elementi soli in modo che due dati bastino per definire quello stato. All'istante posteriore questi dati saranno, per esempio A e B; e all'istante anteriore A′ e B′.

La formula del matematico, costruita con l'insieme delle leggi osservate, gli insegna che lo stato A B non può essere stato generato che dallo stato anteriore A′ B′; ma se egli non conosce che uno dei dati — per esempio A — senza sapere che è accompagnato dall'altro dato B, la sua formula non gli permette alcuna conclusione. Tutt'al più se i fenomeni A e A′ gli appaiono come legati fra loro ma relativamente indipendenti da B e B′, egli concluderà da A a A′; in nessun caso dedurrà la doppia circostanza A′ e B′ dalla circostanza unica A. Il geologo, invece, osservando solo l'effetto A, concluderà che non ha potuto essere prodotto se non dal *concorso* dalle cause A′ e B′ che spesso lo fanno nascere sotto i nostri occhi. Giacché in molti casi quell'effetto A è talmente speciale che un altro insieme di cause concomitanti avente lo stesso effetto sarebbe assolutamente inverosimile.

Se due organismi sono identici o semplicemente analoghi, questa analogia non può essere dovuta al caso, e noi possiamo affermare che essi sono vissuti in condizioni eguali; ritrovandone i resti noi saremo sicuri non solamente che ha preesistito un germe analogo a quello dal quale vediamo nascere degli esseri simili, ma saremo anche certi che la temperatura esteriore non

era troppo elevata tanto da impedire al germe di svilupparsi. Altrimenti quei resti non potrebbero essere che *ludus naturae* come si credeva nel XVII secolo; ed è inutile dire che una simile conclusione urta assolutamente la ragione. L'esistenza di resti organici non è d'altronde che un caso estremo che colpisce più degli altri, e senza uscire dal mondo minerale avremmo potuto citare esempi dello stesso genere.

Dunque il geologo può concludere là dove il matematico non potrebbe. Ma vediamo che egli non è garantito contro la contradizione come lo era il matematico. Se da un'unica circostanza egli conclude a circostanze anteriori multiple; se la estensione della conclusione è in certo modo più grande di quella delle premesse, è possibile che ciò che dedurrà da una osservazione si trovi in disaccordo con ciò che dedurrà da un'altra. Ogni fatto isolato diventa, per così dire, un centro di irradiazione; da ciascuno di essi il matematico deduceva un fatto unico; il geologo ne deduce dei fatti multipli; del punto luminoso che gli è dato egli fa un disco brillante più o meno grande; due punti luminosi gli daranno allora due dischi che potranno sovrapporsi uno all'altro; da ciò la possibilità di un conflitto. Per esempio se il geologo trova in uno strato dei molluschi che non possono vivere al disotto di 20°, concluderà che i mari di quel tempo erano caldi; ma se in seguito un suo collega scoprisse nello stesso strato altri animali che morrebbero a una temperatura superiore a 5°, concluderebbe che quei mari erano freddi.

Si possono avere delle ragioni per sperare che le osservazioni non saranno di fatto contradittorie o che le contradizioni non saranno irriducibili, ma non siamo, per così dire, garantiti contro il rischio d'una contradizione dalle regole stesse della logica formale. E allora ci possiamo domandare se ragionando come i geologhi, non si cadrà un giorno in qualche conseguenza assurda, di modo che saremo costretti ad ammettere la mutabilità delle leggi.

## IV.

Mi sia qui permessa una digressione. Abbiamo veduto che il geologo possiede uno strumento che manca al matematico e che gli permette di concludere dal presente al passato. Perché lo stesso strumento non ci permette di concludere dal presente all'avvenire? Se io vedo un uomo di venti anni, sono sicuro che è passato per tutte le tappe che vanno dall'infanzia fino all'età adulta e per conseguenza sono sicuro che da vent'anni a oggi non c'è stato sulla Terra un cataclisma che abbia distrutto ogni forma di vita; ma tutto ciò non mi prova in nessun modo che fra vent'anni non vi sarà nessun cataclisma. Abbiamo, per conoscere il passato, delle armi che ci mancano per conoscere l'avvenire, ed è per questo che l'avvenire ci sembra più misterioso del passato.

E qui non posso fare a meno di riferirmi ad un articolo che ho scritto sul caso. In quello scritto ricordavo l'opinione del Lalande, il quale aveva detto invece che se l'avvenire è determinato dal passato, il passato non lo è dall'avvenire. Secondo lui una causa non può produrre che un effetto, mentre uno stesso effetto può essere prodotto da più cause diverse. Se così fosse, il passato sarebbe misterioso e l'avvenire si conoscerebbe facilmente.

Non ho potuto accettare quella opinione ma ho mostrato quale poteva esserne la origine. Il principio di Carnot ci mostra che l'energia, che nulla può distruggere, è suscettibile di dissiparsi. Le temperature tendono ad eguagliarsi, il mondo tende verso l'uniformità, cioè verso la morte. Delle grandi differenze nelle cause non producono dunque che delle piccole differenze negli effetti. Appena le differenze negli effetti divengono troppo deboli per poter essere osservate, noi non abbiamo più alcun mezzo per conoscere le differenze che sono esistite altra volta fra le cause che li hanno fatti nascere, per quanto possano essere state grandi quelle differenze.

Ma è appunto perché tutto tende verso la morte, che la vita è una eccezione che bisogna spiegare.

Se dei ciottoli rotolanti sono stati abbandonati a caso sopra

una montagna, essi finiranno per cadere tutti nella vallata; se ne ritroviamo uno giù in basso sarà un effetto banale e che non ci informerà sulla storia anteriore del ciottolo; non potremo sapere in quale punto della montagna era posto prima. Ma se per un caso noi troviamo una pietra nei pressi della cima, potremo affermare che c'è sempre stata poiché se si trovava sulla china sarebbe rotolata fino in fondo; e lo affermeremo con tanta maggior certezza quanto più il caso è eccezionale e quanto minori erano le cause che lo avrebbero potuto produrre.

## V.

Ho sollevato questa questione solo incidentalmente, ma essa meriterebbe maggior riflessione; non voglio però lasciarmi trascinare troppo lontano dal mio soggetto.

È possibile che le contradizioni dei geologi portino gli scienziati ad ammettere la evoluzione delle leggi? Osserviamo anzitutto che è nella giovinezza che le scienze impiegano il ragionamento per analogia del quale la geologia attuale è costretta ad accontentarsi. Via via che sviluppano esse si avvicinano a quello stato che l'astronomia e la fisica sembrano aver già raggiunto e nel quale le leggi possono essere enunciate nel linguaggio matematico. Quel giorno ciò che dicevamo al principio di questo lavoro ridiventerà vero senza restrizioni. Ora molti pensano che tutte le scienze sono destinate a subire, più o meno rapidamente, e le une dopo le altre, la stessa evoluzione. Se così fosse le difficoltà che potrebbero sorgere non sarebbero che provvisorie; esse sarebbero destinate a svanire appena le scienze fossero uscite dall'infanzia.

Ma non abbiamo bisogno di aspettare questo lontano avvenire. In che consiste il ragionamento per analogia del geologo? Un fatto geologico gli sembrava talmente simile a un fatto attuale che non riesce ad attribuire questa somiglianza al caso. Egli crede di non poterla spiegare altro che supponendo che quei due fatti si sieno prodotti in condizioni perfettamente identiche. Arriverebbe fino ad immaginare che le condizioni erano iden-

tiche salvo questo piccolo particolare: che essendo variate nell'intervallo le leggi della natura, il mondo intero sarebbe cambiato al punto di divenire irriconoscibile. Da una parte affermerebbe che la temperatura è dovuta restare la stessa quando in seguito allo sconvolgimento di tutta la fisica, gli effetti della temperatura avrebbero cambiato in modo tale che la stessa parola temperatura avrebbe perduto ogni senso. Evidentemente, qualunque cosa succeda, non sarà mai ad una simile concezione che egli si fermerà. Il modo con cui egli concepisce la logica vi si oppone sul modo più assoluto.

## VI.

E se l'umanità dovesse durare assai più di quanto abbiamo preveduto, tanto quanto basti per vedere le leggi evolversi sotto i suoi occhi? Oppure, se essa venisse in possesso di strumenti così delicati da poter rendere sensibile quella variazione — per lenta che sia — dopo poche generazioni? Non sarebbe più per induzione, o inferendo, che noi conosceremmo i cambiamenti delle leggi, ma sarebbe per osservazione diretta. I ragionamenti che precedono non perderebbero essi ogni valore? Le memorie sulle quali sarebbero riferite le esperienze dei nostri predecessori non sarebbero altro che vestigia del passato che ci darebbero di quel passato una conoscenza soltanto indiretta. I vecchi documenti sono per lo storico quel che i fossili sono per il geologo, e le opere degli scienziati d'altri tempi non sarebbero che dei vecchi documenti. Esse non ci informerebbero sul pensiero di quegli scienziati se non per quel tanto in cui gli uomini d'altri tempi sarebbero simili a noi. Se le leggi del mondo cambiassero, tutte le parti dell'universo ne subirebbero il contraccolpo, e a questo contraccolpo neppure l'umanità sfuggirebbe. Ammettendo che essa potesse sopravvivere in un ambiente nuovo, bisognerebbe che per adattarvisi essa cambiasse. E allora il linguaggio degli uomini d'altri tempi diverrebbe per noi incomprensibile; le parole di cui essi si servivano non avrebbero per noi alcun senso, ovvero ne avrebbero un altro per noi che per loro. Non è forse quel

che succede dopo qualche secolo, nonostante che le leggi della fisica sieno restate immutabili?

E allora cadiamo sempre nello stesso dilemma; o i documenti dei tempi passati saranno rimasti per noi perfettamente chiari, e allora questo vorrà dire che il mondo è restato lo stesso ed essi non potranno insegnarci altro che questo, ovvero saranno divenuti per noi degli enigmi indecifrabili, e non potranno insegnarci nulla, nemmeno se leggi hanno evoluto.

D'altronde gli uomini di altri tempi, come noi, non avranno avuto delle leggi naturali se non una conoscenza frammentaria. Troveremmo sempre il modo di raccordare quei due frammenti anche se fossero rimasti intatti; a più forte ragione se non ci resta del più antico che una immagine indebolita incerta e semi cancellata.

## VII.

E ora poniamoci da un altro punto di vista. Le leggi che una osservazione diretta ci dà non sono altro mai che delle resultantanti. Prendiamo ad esempio la legge di Mariotte. Per la maggior parte dei fisici, essa non è che una conseguenza della teoria cinetica dei gas; le molecole gassose sono animate da velocità considerevoli, esse descrivono delle traiettorie complicate di cui si potrebbe scrivere l'equazione esatta se si sapesse secondo quali leggi esse si attirano o si respingono. Ragionando su quelle traiettorie secondo il calcolo delle probabilità, si arriva a dimostrare che la densità di un gas è proporzionale alla sua pressione.

Le leggi che reggono i corpi osservabili non sarebbero dunque che delle conseguenze delle leggi molecolari.

La loro semplicità non sarebbe che apparente e nasconderebbe una realtà estremamente complessa giacché la complessità verrebbe ad essere misurata dal numero stesso delle molecole. Ma è appunto perché quel numero è grandissimo che le divergenze dei particolari si compenserebbero reciprocamente e che noi crederemmo all'armonia.

E le stesse molecole sono forse dei mondi; le loro leggi non

sono forse che delle resultanti, e per trovarne la ragione bisognerebbe scendere fino alle molecole delle molecole, senza che si possa sapere dove finiremo col fermarci.

Allora le leggi osservabili dipendono da due cose: dalle leggi molecolari e dalla disposizione delle molecole. Sono le leggi molecolari che godono della immutabilità, giacchè sono le vere leggi e le altre non sono che delle apparenze. Ma la disposizione delle molecole può cambiare e con essa le leggi osservabili. E questa sarebbe una ragione per credere alla evoluzione delle leggi.

## VIII.

Supponga si un mondo le cui diverse parti posseggano una conduttibilità calorifica così perfetta che esse si mantengano costantemente in equilibrio di temperatura. Gli abitanti di questo mondo non avrebbero nessuna idea di ciò che noi chiamiamo differenza di temperatura; nei loro trattati di fisica, non ci sarebbe un capitolo consacrato alla termometria.

A parte ciò quei trattati potrebbero essere abbastanza completi e insegnerebbero una quantità di leggi molto più semplici anche delle nostre.

Immaginiamo ora che questo mondo si raffreddi lentamente per irradiamento; la temperatura resterà dappertutto uniforme, ma diminuirà col tempo. Supponiamo che uno dei suoi abitanti cada in letargia e si risvegli dopo qualche secolo; ammetteremo anche, — dal momento che abbiamo supposto tante cose —, che egli possa vivere in un mondo più freddo e che abbia conservato il ricordo delle cose d'altri tempi. Egli vedrà che i suoi discendenti fanno ancora dei trattati di fisica, che continuano a non parlare di termometria, ma che le leggi che insegnano sono molto diverse da quelle che ha conosciuto. Per esempio gli hanno insegnato che l'acqua bolle sotto una pressione di 10 millimetri di mercurio, e i nuovi fisici osserveranno che per farla bollire bisogna abbassare la pressione fino a 5 millimetri. Un dato corpo che altravolta ha conosciuto liquido non si presenterà più che allo stato solido e così via di seguito. Le reciproche relazioni fra

le diverse parti dell'universo dipendono tutte dalla temperatura e se questa cambia tutto è sconvolto.

Ebbene, sappiamo noi se non esista una qualche entità fisica così sconosciuta per noi come lo è la temperatura per gli abitanti di quel mondo di fantasia?

Sappiamo noi se questa entità non varia costantemente come la temperatura di un globo che perde il suo calore per irradiamento, e se questa variazione non porti con se anche la variazione di tutte le leggi?

## IX.

Ritorniamo al nostro mondo immaginario e domandiamoci se i suoi abitanti non potrebbero, senza ripetere la storia dei dormienti di Efeso, accorgersi di quella evoluzione. Senza dubbio, perfetta che sia la conducibilità calorifica sul loro pianeta, essa non sarebbe assoluta, di modo che delle differenze di temperatura estremamente leggere vi sarebbero possibili. Esse sfuggirebbero per lungo tempo alla osservazione, ma verrebbe forse un giorno in cui si immaginerebbero degli apparecchi di misura più sensibili e un fisico di genio metterebbe in evidenza quelle differenze quasi impercettibili. Si costruirebbe una teoria, si vedrebbe che quegli scarti di temperatura hanno un'influenza sopra tutti i fenomeni fisici e finalmente qualche filosofo le cui vedute parrebbero azzardate e temerarie alla maggior parte dei suoi contemporanei, affermerebbe che la temperatura media dell'universo ha potuto variare nel passato e con essa tutte le leggi conosciute.

Non potremmo fare anche noi qualche cosa di simile? Per esempio le leggi fondamentali della Meccanica sono state per lungo tempo considerate come assolute. Oggi certi fisici dicono che esse debbono essere modificate, o piuttosto amplificate; che esse sono approssimativamente vere e soltanto per le velocità alle quali siamo abituati, ma che esse cesserebbero di esserlo per delle velocità paragonabili a quella della luce; e basano il loro modo di vedere su certe esperienze fatte a mezzo del radio. Le antiche leggi della Dinamica non restano per ciò meno vere

praticamente per il mondo che ci circonda. Ma non potremmo dire con una certa apparente ragionevolezza che in seguito alla dissipazione costante di energia, le velocità dei corpi hanno dovuto tendere a diminuire, giacché la loro forza viva tendeva a trasformarli in calore; che risalendo molto lontano nel passato troveremmo un'epoca nella quale le velocità paragonabili a quella della luce non erano eccezionali, e in cui di conseguenza le leggi classiche della Dinamica non erano ancora vere?

Supponiamo d'altra parte che le leggi osservabili non siano che delle resultanti, che dipendono nello stesso tempo dalle leggi molecolari e dalla disposizione delle molecole; quando i progressi della Scienza ci avranno familiarizzati con questa dipendenza potremo senza dubbio concludere che proprio in virtù delle leggi molecolari, la disposizione delle molecole ha dovuto essere altra volta diversa da quella che è oggi e per conseguenza che le leggi osservabili non sono state sempre le stesse. Concluderemo dunque per la variabilità delle leggi, ma, lo si noti bene, sarebbe in virtù del principio della loro immutabilità. Noi affermeremmo che le leggi apparenti hanno cambiato, ma ciò sarebbe perché le leggi molecolari, che ormai considereremo come le vere leggi, sarebbero proclamate immutabili.

## X.

Così non c'è una sola legge che noi possiamo enunciare con la certezza che essa è stata sempre vera nel passato con la stessa approssimazione di oggi; dirò di più: con la certezza che non si potrà mai dimostrare che è stata falsa in altri tempi. E nonostante, non c'è nulla che possa impedire allo scienziato di aver fede nel principio di immutabilità, giacché nessuna legge potrà scendere al rango di legge transitoria se non per essere rimpiazzata da una legge più generale e comprensiva; e che non dovrà questa sua disgrazia se non all'avvento di quella legge nuova, dimodoché non vi sarà stato interregno e i principi si salveranno; che sarà per essi che si faranno i cambiamenti e che le stesse rivoluzioni appariranno come una luminosa conferma di quei principi. Non

succederà neppure che si constatino delle variazioni con l'esperienza o per induzione, e che si spiegheranno subito per farle rientrare in una sintesi più o meno artificiale. No, sarà la sintesi che verrà prima di tutto e se ammetteremo delle variazioni sarà per non disturbarla.

## XI.

Fino a qui è parso che non ci inquietassimo di sapere se le leggi variano realmente ma soltanto se gli uomini possono crederle variabili. Le leggi considerate esistenti come al di fuori dello spirito che le crea o che le osserva sono esse immutabili *in sé*? Non soltanto la questione è insolubile, ma non ha alcun senso. A che serve domandarci se nel mondo delle cose in sé le leggi possono variare col tempo, quando in un simile mondo la parola tempo è priva di senso? Di ciò che è quel mondo non possiamo dir nulla né pensare nulla; non possiamo dire o pensare che ciò che sembra o potrebbe parere a intelligenze che non differissero troppo dalla nostra.

La questione così posta comporta una soluzione. Consideriamo due spiriti simili al nostro che osservano l'universo a due diverse date separate per esempio da un milione d'anni; ciascuno di quegli spiriti costruirà una scienza che sarà un sistema di leggi dedotte dai fatti osservati. È probabile che quelle scienze saranno assai differenti e in questo senso si potrebbe dire che le leggi hanno evoluto. Ma per quanto grande sia lo scarto, si potrà sempre concepire una intelligenza della stessa natura della nostra, ma di portata molto più grande, o che avesse una vita più lunga, che sarà capace di fare la sintesi e di riunire in una formula unica, perfettamente coerente, le due formule frammentarie e approssimative alle quali i due ricercatori effimeri erano pervenuti nel poco tempo di cui disponevano. Per essa le leggi non saranno cambiate, la scienza sarà immutabile. Soltanto, gli scienziati saranno stati imperfettamente informati.

Per fare un paragone geometrico supponiamo che si possa rappresentare le variazioni del mondo con una curva analitica.

Ciascuno di noi non può vedere che un piccolissimo arco di questa curva; se ciascuno di noi lo conoscesse esattamente, potrebbe stabilire l'equazione della curva e potrebbe prolungarla indefinitamente. Ma non ha di quest'arco che una conoscenza imperfetta e può sbagliare l'equazione; se cerca di prolungare la curva, il tratto che egli traccerà si scosterà dalla curva reale tanto più quanto più piccolo sarà l'arco conosciuto e quanto più lontano vorrà spingere il prolungamento dell'arco. Un altro osservatore non conoscerà che un altro arco e lo conoscerà anch'egli imperfettamente.

Per poco che i due osservatori siano lontani l'uno dall'altro, i due prolungamenti che essi tracceranno non si raccorderanno; ma questo non prova che un osservatore che avesse una vista più lunga e che scorgesse direttamente un tratto di curva maggiormente lungo in modo da poter abbracciare i due archi nello stesso tempo, non sarebbe in grado di scrivere una equazione più esatta che concilierebbe le formule divergenti; e d'altronde per capricciosa che sia la curva reale, ci sarà sempre una curva analitica che sopra una lunghezza grande quanto si vorrà, se ne allontanerà tanto poco quanto si vorrà.

Senza dubbio molti lettori saranno urtati vedendo che a ogni momento sembra che io rimpiazzi il mondo con un sistema di simboli semplici. Non è per una abitudine professionale di matematico; la natura del mio soggetto mi imponeva assolutamente questa attitudine. Il mondo bergsoniano non ha leggi; può soltanto averne quello di cui gli scienziati si fanno un'immagine più o meno deformata.

Quando si dice che la natura è governata da leggi, si intende dire che quel ritratto è ancora abbastanza somigliante. Dunque è su di esso e su di esso soltanto che dovevamo ragionare, sotto pena di veder svanire l'idea stessa di legge che era l'oggetto del nostro studio. Ora questa immagine è smontabile; la si può sezionare in elementi, discernervi degli istanti esteriori gli uni agli altri, delle parti indipendenti. Che se qualchevolta ho troppo semplificato riducendo quegli elementi a un numero troppo esiguo, non si tratta che di una questione di misura: la natura e la portata dei miei ragionamenti era sempre quella; solo l'esposizione era più breve.

# LA SCELTA DEI FATTI (1)

Tolstoi, non ricordo più in quale suo scritto, spiega le ragioni per le quali *la Scienza per la Scienza* è, secondo lui, una concezione assurda. Ed ecco come ragiona. Noi non possiamo conoscere *tutti* i fatti, giacché il loro numero è praticamente infinito; bisogna dunque scegliere e allora noi regoliamo la nostra scelta guidati dal semplice capriccio della nostra curiosità. Ma non sarebbe meglio che ci lasciassimo guidare dalla utilità, dai nostri bisogni pratici e soprattutto da quelli morali? Non abbiamo proprio nulla di meglio da fare che contare il numero delle coccinelle che vivono sul nostro pianeta?

Evidentemente la parola utilità non ha per lui il senso che gli attribuiscono gli uomini d'affari e con loro la massima parte dei nostri contemporanei. Egli si interessa poco alle applicazioni industriali, alle meraviglie della elettricità o dell'automobilismo, che considera piuttosto come ostacoli al progresso morale; l'utile secondo lui è unicamente ciò che può rendere l'uomo migliore.

Per conto mio, — non c'è bisogno che lo dica —, io non saprei contentarmi né dell'uno né dell'altro ideale. Non mi piacerebbe né quella plutocrazia avida e di mentalità ristretta, né quella democrazia virtuosa e mediocre, occupata soltanto a offrire la guancia sinistra, democrazia dove vivrebbero dei savî senza curiosità, i quali, evitando gli eccessi, non morrebbero di malattia,

---

(1) Da *Science et méthode*, Paris 1927, pp. 7 a 18.

ma certamente di noia. Ma questo è un affare di gusti e non è di ciò ch'io voglio discutere.

Ma il problema resta e merita la nostra attenzione. Se la nostra scelta non può essere determinata che dal capriccio o dalla utilità immediata, non ci può essere « Scienza per la Scienza » e di conseguenza non ci può essere Scienza. Ma è vero questo? Che sia necessario fare una scelta, è incontestabile giacché qualunque sia la nostra attività, i fatti vanno più presto di noi, e noi non sapremmo raggiungerli; nel tempo che lo scienziato impiega a scoprire un solo fatto, avvengono miliardi di miliardi di altri fatti in un millimetro cubo del suo corpo. Pretendere che la scienza contenga la natura è lo stesso che pretendere che la parte contenga il tutto. Ma gli scienziati credono che vi sia una gerarchia di fatti e che dei fatti si possa fare una scelta giudiziosa; ed hanno ragione perché se così non fosse, non ci sarebbe scienza, e la scienza esiste. Basta aprire gli occhi per vedere che le conquiste dell'industria le quali hanno arricchito tanti uomini pratici non sarebbero mai nate se fossero esistiti soltanto uomini pratici e se questi non fossero stati prevenuti da alcuni pazzi disinteressati che sono morti poveri e che non pensavano mai all'utile e che, ciò nonostante, avevano una guida che non era il loro capriccio.

Gli è che quei pazzi, come ha detto Mach, hanno risparmiato ai loro successori la fatica di pensare. Coloro che avessero lavorato unicamente in vista di una applicazione immediata non avrebbero lasciato nulla dietro a loro, e di fronte ad un bisogno nuovo, si sarebbe dovuto ricominciare tutto da capo. Ora, la maggior parte degli uomini non ama pensare e forse questo è un bene, perché l'istinto li guida e sovente li guida meglio di come la ragione guiderebbe una intelligenza pura (tutte le volte, almeno, che essi perseguono uno scopo immediato e sempre lo stesso). Ma l'istinto è abitudinario e se la intelligenza non lo fecondasse, non progredirebbe nell'uomo come non progredisce nell'ape o nella formica. Bisogna dunque pensare per coloro che non amano pensare, e siccome questi sono numerosi, bisogna che ciascuno dei nostri pensieri sia utile il più possibile; ed è per

questo che una legge sarà tanto più preziosa quanto più sarà generale.

Questo ci indica come deve essere fatta la nostra scelta: i fatti più interessanti sono quelli che possono servire più volte; sono quelli che hanno probabilità di ripetersi.

Noi abbiamo avuto la fortuna di nascere in un mondo dove di questi fatti ve ne sono molti. Supponiamo che invece di 60 elementi chimici ne avessimo 60 miliardi, e che non fossero, come sono, alcuni comuni ed altri rari; ma che fossero distribuiti uniformemente. Allora, ogni volta che noi raccattassimo un nuovo ciottolo, vi sarebbero molte probabilità che quel ciottolo fosse formato da sostanze sconosciute; tutto quello che sapessimo intorno agli altri ciottoli non ci servirebbe per conoscerlo; davanti ad ogni oggetto nuovo saremmo come un neonato; e come un neonato noi non potremmo che obbedire ai nostri capricci e ai nostri bisogni.

In un simile mondo non ci sarebbe scienza, e forse non ci sarebbe il pensiero né la stessa vita, giacché la evoluzione non avrebbe potuto sviluppare in quel mondo gli istinti conservatori. Grazie a Dio non è così. Come tutte le felicità alle quali si è abituati, anche questa non è abbastanza apprezzata. Il biologo sarebbe anch'egli imbarazzato se ci fossero solo individui e non ci fosse la specie e se l'eredità non facesse i figli simili ai padri.

Quali sono dunque i fatti che hanno probabilità di ripetersi? Anzitutto sono i fatti semplici.

È chiaro che in un fatto complesso, mille circostanze sono riunite per caso e che un caso ancora assai meno verosimile potrebbe riunirle nuovamente. Ma ci sono veramente dei fatti semplici? E se ci sono come si possono riconoscere? Chi ci assicura che ciò che crediamo semplice non nasconda una spaventosa complessità? Tutto quello che possiamo dire è che noi dobbiamo preferire i fatti che *sembrano* semplici a quelli dove il nostro occhio grossolano discerne elementi dissimili. E allora, una delle due: o quella semplicità è reale, oppure gli elementi sono tanto intimamente mescolati da non poter essere distinti. Nel

primo caso noi abbiamo la probabilità di incontrare nuovamente quello stesso fatto semplice, sia in tutta la sua purezza, sia come elemento di un insieme complesso. Nel secondo caso quella intima mescolanza ha, ad ogni modo, più probabilità di riprodursi che non un insieme eterogeneo; il caso sa confondere, non sa distinguere, e per fare con elementi multipli un edificio ben ordinato nel quale si distingua qualchecosa, bisogna farlo espressamente. Ci son dunque poche probabilità che un insieme nel quale si distingue qualchecosa si riproduca. Ce ne sono invece molte perché una mescolanza che al primo colpo d'occhio appare omogenea si ripeta varie volte. I fatti che appaiono semplici, anche se non lo sono, saranno dunque più facilmente ripetuti dal caso.

Questo giustifica il metodo istintivamente adottato dallo scienziato e ciò che forse lo giustifica ancora maggiormente, è che i fatti frequenti ci sembrano semplici precisamente perché vi siamo abituati.

Ma dove è il fatto semplice? Gli scienziati sono andati a cercarlo ai due estremi: nell'infinitamente grande e nell'infinitamente piccolo. L'Astronomo lo ha trovato perché le distanze degli astri sono immense, così grandi, che ciascuno di essi astri non ci appare che come un punto; così grandi che le differenze qualitative spariscono; e un punto è più semplice di un corpo che ha una forma e delle qualità. Il Fisico invece ha cercato il fenomeno elementare fingendo di spezzare i corpi in piccolissimi cubi, perché le condizioni del problema, che subiscono delle variazioni lente e continue quando si passa da un punto all'altro di un corpo, potranno essere considerate come costanti nell'interno di ciascuno dei piccoli cubi.

Allo stesso modo il Biologo è stato istintivamente portato a considerare le cellule come più interessanti dell'animale intero, e i risultati gli hanno dato ragione perché le cellule appartenenti ai più diversi organismi sono più simili fra di loro, per chi sa riconoscere quella somiglianza, che non gli organismi stessi. Il Sociologo è più imbarazzato: gli elementi che per lui sono gli

uomini son troppo dissimili, troppo variabili, troppo capricciosi, in una parola, troppo complessi essi stessi; e perciò la storia non ricomincia, ed è perciò difficile scegliere il fatto interessante che è appunto quello che si ripete. Il metodo essendo appunto la scelta dei fatti, ci si è preoccupati anzitutto di immaginare un metodo e siccome nessun metodo si imponeva se ne sono immaginati molti. Ogni tesi sociologica propone un metodo nuovo che d'altronde il nuovo dottore si guarda bene dall'applicare, di modo che la sociologia è la scienza in possesso del maggior numero di metodi e del minor numero di resultati.

Bisogna dunque cominciare con i fatti regolari; ma non appena la regola è ben stabilita, non appena è sicura, i fatti che vi si conformano perdono presto ogni interesse per noi perché non ci insegnano nulla di nuovo. È il momento in cui l'eccezione diviene importante. Si cesserà di cercare le rassomiglianze per attaccarsi anzitutto alle dissomiglianze e fra queste si sceglierà le più accentuate, e ciò non solo perché esse saranno le più appariscenti, ma perché saranno le più istruttive....

....Quando dunque una regola è stabilita, noi dovremo cercare anzitutto i casi nei quali c'è maggior probabilità che la regola non sia rispettata.

Da ciò appunto deriva l'interesse dei fatti astronomici e quello del passato geologico. Andando lontanissimi nello spazio e nel tempo possiamo trovare le nostre regole abituali interamente sovvertite; e quei grandi sovvertimenti ci faranno veder meglio e capir meglio i piccoli cambiamenti che possono prodursi vicino a noi nel piccolo angolo di mondo dove viviamo. Conosceremo meglio questo angolo dopo aver viaggiato lontano.

Ma ciò a cui dobbiamo mirare non sono tanto le somiglianze e le differenze, quanto le similitudini nascoste sotto le apparenti divergenze. Le regole particolari sembrano a tutta prima discordanti ma guardando più da vicino vediamo in generale che si somigliano; differenti per la materia, esse si avvicinano per la forma e per l'ordine delle loro parti. Quando le osserveremo da questo punto di vista, le vedremo allargarsi e tendere ad abbrac-

ciar tutto. Ed ecco ciò che costituisce il valore di certi fatti che vengono a completare un insieme mostrando che questo insieme è l'immagine fedele di altri insiemi conosciuti.

Non voglio troppo insistere ma queste poche parole basteranno a dimostrare che lo scienziato non sceglie a caso i fatti che deve osservare. Esso non conta le coccinelle, come dice Tolstoi; poiché, per quanto questi animali sieno interessanti, il loro numero è soggetto a variazioni capricciose. Egli cerca di condensare molta esperienza in un piccolo volume, e questa è la ragione per la quale un libricciolo di fisica contiene tante esperienze passate e mille volte più di esperienze possibili di cui conosciamo in anticipo il resultato.

Ma non abbiamo ancora preso in considerazione che un lato della questione. Lo scienziato non studia la natura perché ciò è utile; la studia perché ne prova un piacere e ne prova un piacere perché la natura è bella. Se la natura non fosse bella, non varrebbe la pena di conoscerla e la vita non varrebbe la pena di esser vissuta. Non parlo, beninteso, di quella bellezza che colpisce i sensi, la bellezza delle qualità e delle apparenze; non che io la sdegni ma essa non ha nulla a che fare con la scienza; voglio parlare di quella bellezza più intima che nasce dall'ordine armonioso delle parti e che la pura intelligenza può intendere. È essa che dà un corpo alle apparenze cangianti che lusingano i nostri sensi, e senza questo supporto la bellezza di quei sogni passeggeri non sarebbe che imperfetta perché sarebbe indecisa e sempre fuggevole. Invece la bellezza intellettuale basta a sé stessa ed è per essa più che per il bene futuro dell'umanità che lo scienziato si impone lunghi e penosi lavori.

È dunque la ricerca di quella bellezza speciale, il senso dell'armonia del mondo, che ci fa scegliere i fatti più proprii a contribuire a quella armonia, allo stesso modo che l'artista fra i tratti del suo modello sceglie quelli che daranno al ritratto il carattere e la vita. E non c'è da temere che quella preoccupazione istintiva e non confessata distolga lo scienziato dalla ricerca della verità. Si può sognare un mondo armonioso, ma quanto il mondo reale

lo supererà in bellezza! I più grandi artisti che sieno mai esistiti, i Greci, s'erano costruito un cielo; come è meschino il loro cielo in confronto di quello vero, del nostro!

Ed è perché la semplicità è bella, perché la grandezza è bella che noi cercheremo di preferenza i fatti semplici e quelli grandiosi, e che ci compiaceremo talvolta a seguire la corsa gigantesca degli astri, tal'altra a scrutare col microscopio quella prodigiosa piccolezza che è anch'essa una grandezza, tal'altra a ricercare nei tempi geologici le traccie di un passato che ci attira perché è lontano. E vediamo che la preoccupazione del bello ci conduce alla stessa scelta di quella dell'utile. E così quella economia del pensiero, quella economia dello sforzo, che secondo Mach è la tendenza costante della scienza, si rivela una sorgente di bellezza e nello stesso tempo un vantaggio pratico. Gli edifici che ammiriamo sono quelli nei quali l'architetto ha saputo proporzionare i mezzi allo scopo, quelli nei quali le colonne sembrano portare allegramente e senza sforzo il peso che è stato loro imposto, come le graziose cariatidi dell'Eretteo.

Di dove deriva questa concordanza? È semplicemente perché le cose che ci sembrano belle sono quelle che s'adattano meglio alla nostra intelligenza, e perché conseguentemente esse sono anche lo strumento che la intelligenza sa meglio adoperare? Oppure si tratta di un gioco della evoluzione e della selezione naturale? Ed è vero che quei popoli i quali avevano un ideale più conforme al loro beninteso interesse hanno sterminato gli altri e ne hanno preso il posto? Gli uni e gli altri perseguivano il loro ideale senza rendersi conto delle conseguenze, ma mentre questa ricerca conduceva gli uni alla rovina, agli altri dava l'impero. Si sarebbe tentati di crederlo; se i Greci hanno trionfato dei barbari e se l'Europa erede del pensiero greco domina il mondo, è perché i selvaggi amavano i colori violenti e i suoni assordanti del tamburo che occupavano solo i loro sensi, mentre i Greci amavano la bellezza intellettuale che si nasconde sotto la bellezza sensibile, ed è quella che fa l'intelligenza forte e sicura.

Indubbiamente un simile trionfo farebbe orrore a Tolstoi

che non vorrebbe ammettere la utilità. Ma quella ricerca del vero per la sua propria bellezza è sana anch'essa e può rendere l'uomo migliore. So benissimo che quella ricerca ha anche degli inconvenienti, che lo scienziato non sempre vi attinge la serenità, e so anche che vi sono scienziati che hanno un brutto carattere. Ma bisognerà per questo abbandonare la scienza e studiare soltanto la morale?

Eh via! Forse che i moralisti sono irreprensibili quando scendono dalla loro cattedra?

# IL CASO (1)

## I.

« Come si può parlare di leggi del caso? Il caso non è l'antitesi d'ogni legge? ». Così si esprime Bertrand all'inizio del suo *Calcolo delle probabilità*. La probabilità è l'opposto della certezza; è dunque ciò che ignoriamo e che per conseguenza non possiamo calcolare. C'è qui una contradizione per lo meno apparente e sulla quale si è già molto scritto.

E anzitutto che cos'è il caso? Gli antichi distinguevano i fenomeni che sembravano obbedire a leggi armoniose stabilite una volta per tutte, da quelli che essi attribuivano al caso; che erano quelli appunto che non si potevano prevedere perché eran ribelli ad ogni legge. Leggi precise non decidevano di tutto; esse tracciavano soltanto i limiti entro i quali era permesso al caso di muoversi. In questa concezione la parola caso aveva un senso preciso, oggettivo: ciò che era caso per l'uno era anche caso per l'altro ed anche per gli dei.

Ma questa non è più la nostra concezione; noi siamo divenuti dei deterministi assoluti e coloro stessi che vogliono salvare i diritti del libero arbitrio umano lasciano che il determinismo regni assoluto almeno nel mondo inorganico. Ogni fenomeno per minimo che sia ha una causa, e uno spirito infinitamente potente e infinitamente ben informato delle leggi della

(1) Da *Science et Méthode*, ediz. cit., pp. 64 a 94.

natura avrebbe potuto prevederlo sin dal principio dei secoli. Se un tale spirito esistesse non si potrebbe giocar con lui a nessun gioco d'azzardo; perderemmo sempre.

Per lui, effettivamente, la parola caso non avrebbe senso o piuttosto per lui non ci sarebbe il caso. Ci sarebbe per noi a causa della nostra ignoranza e della nostra debolezza. E d'altronde senza neppur uscire dalla nostra debole umanità ciò che è caso per l'ignorante non è caso per lo scienziato. Il caso non è che la misura della nostra ignoranza. I fenomeni fortuiti sono per definizione quelli di cui ignoriamo le leggi.

Ma questa definizione è veramente soddisfacente? Quando i primi pastori della Caldea seguivano con lo sguardo il movimento degli astri e non conoscevano ancora le leggi dell'Astronomia avrebbero pensato di dire che gli astri si movevano a caso? Se un fisico moderno studia un nuovo fenomeno e ne scopre la legge il martedì, avrebbe detto il lunedì che il fenomeno era fortuito? Ma c'è di più. Per predire un fenomeno non si invocano forse quelle che Bertrand chiama le leggi del caso? E per esempio, nella teoria cinetica dei gas, noi ritroviamo le leggi note di Mariotte e di Gay-Lussac, grazie all'ipotesi delle velocità delle molecole gassose varianti irregolarmente, che è quanto dire varianti a caso. Le leggi osservabili, vi diranno tutti i fisici, sarebbero molto meno semplici se le velocità fossero regolate da qualche legge elementare semplice, se le molecole fossero, come si dice, *organizzate*, se obbedissero a qualche disciplina. Grazie al caso, e cioè grazie alla nostra ignoranza, noi possiamo giungere a delle conclusioni. E allora, se la parola caso è semplicemente sinonimo di ignoranza, tutto questo che cosa vuol dire? Bisognerà dunque esprimersi nel modo seguente?

« Voi mi chiedete di predire i fenomeni che stanno per prodursi. Se per disgrazia io conoscessi le leggi di quei fenomeni, non potrei arrivare a predirli che attraverso calcoli inestricabili e dovrei rinunciare a rispondervi; ma siccome ho la fortuna di ignorarli, vi risponderò subito. E ciò che vi è di più straordinario in tutto questo, è che la mia risposta sarà giusta ».

Bisogna dunque che il caso sia qualchecosa di diverso da ciò cui diamo il nome di ignoranza; e fra i fenomeni di cui ignoriamo le cause, dovremo distinguere i fenomeni fortuiti sui quali il calcolo delle probabilità ci informerà provvisoriamente, da quelli che non sono fortuiti e sui quali non possiamo dir nulla fino a che non avremo determinato le leggi che li regolano. E quanto ai fenomeni fortuiti è chiaro che i dati che ci fornisce il calcolo delle probabilità non cesseranno d'essere veri il giorno in cui quei fenomeni saranno meglio conosciuti.

Il direttore di una compagnia di assicurazioni sulla vita ignora quando morrà ciascuno dei suoi assicurati, ma conta sul calcolo delle probabilità e sulla legge dei grandi numeri, e non sbaglia giacché distribuisce dei dividendi ai suoi azionisti. Quei dividendi non svanirebbero se un medico molto perspicace e molto indiscreto venisse a informare il direttore (quando le polizze fossero già firmate) sulle possibilità di vita degli assicurati. Quel medico dissiperebbe l'ignoranza del direttore, ma non influirebbe affatto sui dividendi che evidentemente non sono il prodotto di quella ignoranza.

II.

Per trovare una migliore definizione del caso è necessario che noi esaminiamo qualcuno di quei fatti che concordemente si considerano come fortuiti e ai quali sembra possa applicarsi il calcolo delle probabilità; in seguito cercheremo di stabilire quali sono i loro caratteri comuni.

Il primo esempio che prenderemo sarà quello dell'equilibrio instabile. Se un cono posa sulla sua punta noi sappiamo benissimo che cascherà, ma non sappiamo da qual parte e ci sembra che solo il caso lo deciderà. Se il cono fosse perfettamente simmetrico, se il suo asse fosse perfettamente verticale, se non fosse sottoposto a nessun'altra forza oltre quella del peso, non cadrebbe.

Ma il più piccolo difetto di simmetria lo farà inclinare da una o dall'altra parte, e una volta inclinato, per minima che sia

la sua inclinazione, cadrà senz'altro da quella parte. Se anche la simmetria è perfetta, una trepidazione leggerissima, un soffio d'aria potrà farlo inclinare di qualche secondo d'arco; e ciò sarà sufficiente per determinare la sua caduta, e anche il senso della sua caduta che sarà quello della inclinazione iniziale.

Una causa assai piccola che ci sfugge determina un effetto considerevole che noi non possiamo non vedere, e allora noi diciamo che quell'effetto è dovuto al caso. Se noi conoscessimo esattamente le leggi della natura e la situazione dell'universo all'istante iniziale, noi potremmo predire esattamente la situazione di quel medesimo universo in un istante ulteriore. Ma quand'anche le leggi naturali non avessero più segreti per noi, non potremo conoscere la situazione iniziale se non *approssimativamente*. Se ciò ci permette di prevedere la situazione ulteriore *con la stessa approssimazione*, questo ci basta e diciamo che il fenomeno è stato previsto e che è retto da leggi. Ma non è sempre così. Può succedere che delle piccole differenze nelle condizioni iniziali ne generino delle grandissime nei fenomeni finali; allora un piccolo errore intorno a quelle differenze iniziali produrrebbe un errore enorme nei fenomeni finali; la predizione diviene impossibile, e abbiamo il fenomeno fortuito.

Il nostro secondo esempio sarà molto analogo al primo e lo trarremo dalla meteorologia. Perché i meteorologhi durano tanta fatica a predire il tempo con un po' di certezza? Perché la caduta delle piogge e le stesse tempeste ci sembrano arrivare a caso, di modo che la gente trova naturalissimo pregare per aver la pioggia o il bel tempo, mentre troverebbero ridicolo domandare una eclisse con una preghiera? Noi vediamo che le grandi perturbazioni si producono generalmente nelle regioni dove la atmosfera è in equilibrio instabile. I meteorologhi vedono bene che quell'equilibrio è instabile, che un ciclone nascerà in qualche posto; ma dove nascerà non lo sanno dire; un decimo di grado in più o in meno in un punto qualunque, e il ciclone scoppia qui e non là, e porta la rovina in contrade che avrebbe risparmiato. Se avessimo conosciuto quel decimo di grado avrem-

mo potuto saperlo anticipatamente ma le osservazioni non erano né abbastanza serrate né abbastanza precise, ed è per questo che tutto è parso dovuto al caso. Qui ancora troviamo lo stesso contrasto fra una causa minima, inapprezzabile per l'osservatore e degli effetti considerevoli che qualche volta sono spaventosi disastri.

Passiamo a un altro esempio: la distribuzione dei pianetini sullo zodiaco.

Le loro longitudini iniziali hanno potuto essere qualunque; ma i loro movimenti medii erano diversi ed essi circolano da tanto tempo che attualmente si può dire che sono distribuiti *a caso* lungo lo zodiaco.

Delle piccolissime differenze iniziali fra le loro distanze dal Sole o, ciò che fa lo stesso, fra i loro movimenti medii, hanno finito col dare delle differenze grandissime fra le loro longitudini attuali; un eccesso di un millesimo di secondo nel medio movimento diurno, darà effettivamente un secondo in tre anni, un grado in diecimila anni, una circonferenza intera in tre o quattro milioni di anni. E che cos'è tutto questo in confronto al tempo che è passato da quando i pianetini si sono staccati dalla nebulosa di Laplace? Ecco dunque una volta di più una piccola causa e un grande effetto; o meglio: delle piccole differenze fra le cause, e delle grandi differenze nell'effetto.

Il giuoco della *roulette* ci allontana dall'esempio precedente assai meno di quello che non sembri. Supponiamo un ago che possiamo far girare intorno a un perno e sopra un quadrante diviso in 100 settori alternativamente rossi e neri. Se l'ago si ferma sopra un settore rosso la posta è vinta; se no, è perduta. Tutto dipende evidentemente dall'impulso iniziale che diamo all'ago. L'ago, suppongo, farà 10 o 20 volte il giro ma si fermerà più o meno presto a seconda che avrò dato un impulso più o meno forte. Basta che l'impulso varii soltanto di un millesimo o di due millesimi perché il mio ago si fermi a un rettangolo che è nero oppure al settore seguente che è rosso. Son differenze queste che il senso muscolare non può apprezzare e che

sfuggirebbero anche agli strumenti più delicati. Mi è dunque impossibile prevedere quel che farà l'ago che ho lanciato ed è per questo che il mio cuore batte, e che aspetto tutto dal caso.

La differenza nella causa è impercettibile, e la differenza nell'effetto è per me della più grande importanza perchè ne va di tutta la mia posta.

III.

Mi si permetta a proposito di ciò una riflessione un poco estranea al mio soggetto. Qualche anno fa un filosofo ha detto che l'avvenire era determinato dal passato, ma non il passato dall'avvenire; in altri termini, che dalla conoscenza del presente noi potevamo dedurre quella dell'avvenire ma non quella del passato, perché, diceva il filosofo, una causa non può produrre che un effetto, mentre uno stesso effetto può essere prodotto da più cause diverse. È chiaro che nessuno scienziato può sottoscrivere a questa conclusione; le leggi della Natura legano l'antecedente al conseguente di modo che l'antecedente è determinato dal conseguente così come il conseguente dall'antecedente.

Ma quale può essere stata l'origine dell'errore di quel filosofo? Noi sappiamo che in virtù del principio di Carnot i fenomeni fisici sono irreversibili e che il mondo tende verso l'uniformità. Quando due corpi di temperatura differente sono in presenza l'uno dell'altro il più caldo cede calore al più freddo; noi possiamo dunque prevedere che le temperature si eguaglieranno. Ma quando le temperature saranno divenute eguali, se saremo interrogati sullo stato anteriore che cosa potremo rispondere? Noi diremo senza dubbio che uno dei corpi era caldo e l'altro freddo ma non potremo indovinare quale dei due era, prima, il più freddo.

Eppure, in realtà, le temperature non arrivano mai all'eguaglianza perfetta. La differenza delle temperature tende verso lo zero soltanto in modo asintotico. Si arriva allora a un determinato momento nel quale i nostri termometri sono impotenti a rivelare quella differenza. Ma se avessimo dei termometri mille volte

centomila volte più sensibili, noi constateremmo che una piccola differenza sussiste ancora e che uno dei corpi è restato un poco più caldo dell'altro; e allora potremmo affermare che è quello che prima era molto più caldo dell'altro.

Dunque in questo caso, contrariamente a quanto abbiamo visto negli esempi precedenti, vi sono grandi differenze nella causa e piccole differenze nell'effetto.

Flammarion aveva immaginato un osservatore che si allontanasse dalla Terra con una velocità più grande di quella della luce; per lui il tempo sarebbe cambiato di segno. Per lui la storia sarebbe arrovesciata e Waterloo precederebbe Austerlitz. Ebbene, per questo osservatore gli effetti e le cause sarebbero invertiti; l'equilibrio instabile non sarebbe più l'eccezione; per la irreversibilità universale tutto gli sembrerebbe uscire da una sorta di caos in equilibrio instabile; tutta la Natura gli apparrebbe come abbandonata al caso.

## IV.

Ecco ora altri esempi dove vedremo compatire alcuni caratteri un po' differenti.

Prendiamo anzitutto la teoria cinetica dei gas. Come dobbiamo rappresentarci un recipiente riempito di gas? Innumerevoli molecole animate da velocità grandissime solcano il recipiente in tutti i sensi; ad ogni istante esse urtano le pareti oppure si urtano fra di loro; e questi urti avvengono nelle condizioni le più diverse. Ciò che qui ci colpisce non è la piccolezza delle cause, bensì la loro complessità. E ciononostante il primo elemento si ritrova ancora qui e ha una parte importante. Se una molecola fosse deviata verso la sinistra o la destra della sua traiettoria, di una piccolissima quantità paragonabile al raggio d'azione delle molecole gassose, essa eviterebbe un urto o lo subirebbe in condizioni diverse e ciò farebbe variare, forse di 90° o di 180°, la direzione della sua velocità dopo l'urto.

E questo non è tutto; basta, lo abbiam visto ora, deviare la molecola prima dell'urto, di una quantità infinitamente piccola,

perché essa sia deviata, dopo l'urto, di una quantità finita. Se allora la molecola subisce due urti successivi, basterà deviarla prima del primo urto, di una quantità infinitamente piccola del secondo ordine, perché essa sia deviata, dopo il primo urto, di una quantità infinitamente piccola del primo ordine, e, dopo il secondo urto, di una quantità finita. E la molecola non subirà due urti soltanto, essa ne subirà un grandissimo numero ogni minuto secondo. Dimodoché se il primo urto ha modificato la deviazione per un numero molto grande A, dopo $n$ urti la deviazione sarà moltiplicata per $A^n$; essa sarà dunque divenuta grandissima non solamente perché A è grande, cioè perché le piccole cause producono grandi effetti, ma perché l'esponente $n$ è grande, perché, cioè, gli urti sono molto numerosi e perché le cause sono molto complesse.

Passiamo ad un secondo esempio. Perché nella pioggia le gocciole d'acqua ci sembrano distribuite a caso? È a causa della complessità delle cause che determinano la loro formazione. Degli ioni si sono sparsi nell'atmosfera, per molto tempo sono stati sottoposti a correnti d'aria continuamente mutevoli, sono stati trascinati in vortici di piccolissime dimensioni, dimodoché la loro distribuzione finale non ha più alcun rapporto con la loro distribuzione iniziale. Tutto a un tratto la temperatura s'è abbassata, il vapor acqueo si è condensato e ciascuno di quegli ioni è divenuto il centro di una gocciola di pioggia. Per sapere quale sarà la distribuzione di quelle gocciole e quante ne cadrà su ogni parte del piano stradale, non basterebbe conoscere la situazione iniziale degli ioni, bisognerebbe anche precisare l'effetto di mille correnti d'aria minuscole e capricciose.

Ed egualmente avviene se si mettono dei granelli di polvere in sospensione nell'acqua; il vaso è solcato da correnti di cui ignoriamo la legge e della quale sappiamo soltanto che è molto complicata, e dopo un certo tempo, i granelli saranno distribuiti a caso, cioè uniformemente, nel vaso. E ciò è dovuto precisamente alla complicazione di quelle correnti. Se essi avessero obbedito a qualche legge semplice, se, per esempio, il vaso

avesse avuto un moto di rivoluzione e se le correnti avessero circolato intorno all'asse del vaso descrivendo dei circoli, non sarebbe stata la stessa cosa, perché ciascun granello avrebbe conservato la sua altezza iniziale e la sua distanza iniziale dall'asse.

Si arriverebbe allo stesso resultato mescolando due liquidi o due polveri di fini granelli. E per prendere un esempio più grossolano, succede lo stesso quando si mescolano le carte da gioco. Ad ogni colpo le carte subiscono una permutazione, analoga a quella che si studia nella teoria delle sostituzioni. Quale di quelle permutazioni si realizzerà? La probabilità perché sia la tale permutazione (per esempio quella che porta al rango $n$ la carta che occupa il rango $\varphi[n]$ prima della permutazione) questa probabilità, dico, dipende dalle abitudini del giocatore. Ma se questo giocatore mescola le carte per un tempo lungo, ci sarà un gran numero di permutazioni successive; e l'ordine finale che ne resulterà non sarà più il solo resultato del caso; voglio dire che tutti gli ordini possibili saranno egualmente probabili. Il resultato sarà dovuto al gran numero delle permutazioni successive, che è quanto dire alla complessità del fenomeno.

Una parola infine sulla teoria degli errori. È proprio qui che le cause sono complesse e che sono multiple. A quanti agguati non è esposto l'osservatore anche col migliore strumento! Egli deve far di tutto per potere scorgere i più grossi ed evitarli. Sono quelli che fanno nascere gli errori sistematici. Ma quando egli li avrà eliminati, ammesso che vi riesca, ne resteranno molti piccoli che accumulando i loro effetti potranno divenire pericolosi.

Di qui nascono gli errori accidentali; e noi li attribuiamo al caso perché le loro cause sono troppo complicate e troppo numerose. Anche qui non abbiamo che delle piccole cause ognuna delle quali non produrrebbe che un piccolo effetto; ma che produrranno un effetto temibile per il loro numero e la loro unione.

## V.

Ci si può porre anche da un terzo punto di vista che ha meno importanza dei primi due e sul quale insisterò meno. Quando si cerca di prevedere un fatto e se ne esaminano gli antecedenti, ci si sforza di renderci conto della situazione anteriore; ma non lo potremo fare per tutte le parti dell'universo e ci si contenta di sapere ciò che accade nelle vicinanze del punto dove il fatto deve prodursi, o dove almeno deve accadere qualche cosa che sembri avere rapporto con quel fatto. Una inchiesta non può essere completa e bisogna sapere scegliere. Ma può succedere che si sieno lasciate da parte delle circostanze che a tutta prima sembravano estranee completamente al fatto preveduto, e alle quali non si sarebbe mai pensato di attribuire alcuna influenza e che, nonostante, contrariamente ad ogni previsione, vengono ad avere una parte importante.

Un uomo passa per la strada andandosene per i suoi affari; qualcheduno al corrente di quegli affari potrebbe dire per quale ragione è partito a quella tale ora e perché è passato per quella tale strada. Su di un tetto lavora un muratore; l'impresario dei lavori che lo fa lavorare potrà prevedere in una certa misura ciò che il muratore farà. Ma l'uomo che passa per la strada non pensa al muratore, questi non pensa all'uomo: essi sembrano appartenere a due mondi completamente estranei l'uno all'altro. E nonostante il muratore lascia cadere un tegolo che uccide l'uomo, e non esiteremo a dire che quello è un caso.

La nostra debolezza non ci permette di abbracciare tutto l'universo e ci obbliga a tagliarlo a fette. Noi cerchiamo di far questo nel modo meno artificiale possibile, e tuttavia, succede ogni tanto che quelle fette reagiscono l'una sull'altra. Gli effetti di questa azione reciproca ci sembrano allora dovuti al caso.

È questo un terzo modo di concepire il caso? Non sempre. Infatti quasi sempre si è ricondotti al primo o al secondo modo. Ogni volta che due mondi generalmente estranei l'uno

all'altro vengono così a reagire l'uno sull'altro, le leggi di questa reazione non possono essere che complesse, e, d'altra parte, sarebbe bastato un piccolo cambiamento nelle condizioni iniziali di quei due mondi perché la reazione non avesse luogo. Sarebbe bastato un nulla perché l'uomo passasse un secondo più tardi, o perché il muratore lasciasse cadere la tegola un secondo più presto.

## VI.

Tutto quello che abbiamo detto sin qui non ci spiega ancora perché il caso obbedisce a delle leggi. Basta che le cause sieno piccole o che sieno complesse perché si possa prevedere quali sono gli effetti se non *in ogni caso*, almeno quali saranno *in media*? Per rispondere a questa domanda la meglio è di riprendere in esame qualcheduno degli esempi citati più sopra.

Comincerò da quello della *roulette*. Ho detto che il punto dove si fermerà l'ago dipenderà dall'impulso iniziale che gli sarà dato. Qual'è la probabilità perché questo impulso abbia il tale o il tal altro valore? Non ne so nulla ma mi è difficile non ammettere che questa probabilità è rappresentata da una funzione analitica continua. La probabilità che l'impulso sia compreso fra $a$ e $a + \varepsilon$, sarà allora sensibilmente eguale alla probabilità che sia compresa fra $a + \varepsilon$ e $a + 2\varepsilon$, *purché* $\varepsilon$ *sia molto piccolo*. È questa una proprietà comune a tutte le funzioni analitiche. Le piccole variazioni delle funzioni sono proporzionali alle piccole variazioni della variabile.

Ma, noi l'abbiamo supposto, una piccolissima variazione dell'impulso basta per cambiare il colore del settore davanti al quale l'ago finirà per arrestarsi. Da $a$ ad $a + \varepsilon$ è il rosso, da $a + \varepsilon$ ad $a + 2\varepsilon$ è il nero; la probabilità di ogni settore rosso è dunque la stessa che quella del settore nero seguente, e, per conseguenza, la probabilità totale del rosso è eguale alla probabilità totale del nero.

Il dato del problema è la funzione analitica che rappresenta la probabilità di un impulso iniziale determinato. Ma il

teorema resta vero qualunque sia quel dato perché dipende da una proprietà comune a tutte le funzioni analitiche. Da ciò resulta che finalmente non abbiamo più nessun bisogno del dato.

Ciò che abbiamo ora detto per il caso della *roulette* si applica anche all'esempio dei pianetini. Lo zodiaco può essere considerato come un'immensa *roulette* sulla quale il creatore ha lanciato un grandissimo numero di pallottole alle quali ha comunicato degli impulsi iniziali diversi, varianti secondo una legge qualsiasi. La loro distribuzione attuale è uniforme e indipendente da quella legge per la stessa ragione del caso precedente. Si vede così perché i fenomeni obbediscono alle leggi del caso quando delle piccole differenze nelle cause sono sufficienti a provocare delle grandi differenze sugli effetti.

Le probabilità di queste piccole differenze possono allora essere considerate come proporzionali a quelle stesse piccole differenze, appunto perché quelle differenze sono piccole e perché i piccoli accrescimenti di una funzione continua sono proporzionali a quelli della variabile.

Passiamo a un esempio completamente diverso dove interviene soprattutto la complessità delle cause:

Suppongo che un giocatore scozzi un mazzo di carte. Ad ogni scozzatura egli inverte l'ordine delle carte e può invertirle in diverse maniere. Supponiamo un mazzo di 3 carte solamente per semplificare. Le carte, che prima della scozzatura occupavano rispettivamente i posti 1 2 3, potranno, di poi, occupare i posti

$$1\,2\,3,\quad 2\,3\,1,\quad 3\,1\,2,\quad 3\,2\,1,\quad 1\,3\,2,\quad 2\,1\,3.$$

Ciascuna di queste sei ipotesi è possibile e esse hanno rispettivamente le probabilità:

$$p_1,\ p_2,\ p_3,\ p_4,\ p_5,\ p_6.$$

La somma di questi sei numeri è eguale a 1; ma questo è tutto ciò che sappiamo: queste sei probabilità dipendono naturalmente dalle abitudini del giocatore, che noi non conosciamo.

Alla seconda scozzatura e alle seguenti tutto questo ricomincerà e nelle stesse condizioni; voglio dire che $p_4$, per esem-

pio, rappresenta sempre la probabilità perché le 3 carte che occupavano, dopo la $n^{esima}$ scozzatura e prima della $n+1^{esima}$ i posti 123, perché quelle tre carte, dico, occupino i posti 321 dopo la $n+1^{esima}$ scozzatura. E questo resta vero qualunque sia il numero $n$ poichè le abitudini del giocatore e il suo modo di scozzar le carte restano gli stessi.

Ma se il numero delle scozzature è grandissimo, le carte che prima della prima scozzatura occupavano i posti 123, potranno dopo la ultima scozzatura occupare i posti

123, 231, 312, 321, 132, 213

e la probabilità di queste sei ipotesi sarà sensibilmente la stessa e eguale a $\frac{1}{6}$; e ciò sarà vero qualunque sieno i numeri $p_1 \ldots p_6$ che noi non conosciamo. Il gran numero delle scozzature, cioè a dire la complessità delle cause, ha prodotto la uniformità.

Questo si applicherebbe senza nessun cambiamento se si trattasse di più di tre carte, ma anche con sole tre carte la dimostrazione sarebbe complicata; mi contenterò di darla per due sole carte. Non abbiamo che due ipotesi

12, 21

con le probabilità $p_1$ e $p_2 = 1 - p_1$. Supponiamo $n$ scozzatura e supponiamo che io guadagni 1 franco se le carte sono finalmente nell'ordine iniziale, e che ne perda uno se esse sono finalmente invertite. Allora la mia speranza matematica sarà:

$$(p_1 - p_2)^n.$$

La differenza $p_1 - p_2$ è certamente più piccola di uno; in modo che se $n$ è molto grande, la mia speranza sarà nulla; non abbiamo bisogno di conoscere $p_1$ e $p_2$ per sapere che il gioco è equo.

Ci sarebbe tuttavia una eccezione: se uno dei numeri $p_1$ e $p_2$ fosse eguale a 1 e l'altro nullo. *Allora tutto ciò non andrebbe più perché le nostre ipotesi iniziali sarebbero troppo semplici.*

Ciò che abbiamo visto or ora non si applica solo al mescolamento delle carte ma a tutti i mescolamenti: a quello delle polveri e dei liquidi; e anche a quello delle molecole gassose

nella teoria cinetica dei gas. E per tornare a questa teoria, supponiamo per un momento un gas le cui molecole non possano urtarsi scambievolmente, ma possano essere deviate da urti sulle pareti del vaso nel quale è chiuso il gas. Se la forma del vaso è abbastanza complicata, la distribuzione delle molecole e quella delle velocità non tarderanno a divenire uniformi. Non sarà la stessa cosa se il vaso è sferico o se ha la forma di un parallelepipedo rettangolare. Perché? Perché nel primo caso la distanza dal centro a una qualunque traiettoria resterà costante; nel secondo caso sarà il valore assoluto dell'angolo di ciascuna traiettoria con le facce del parallelepipedo.

Si vede così che cosa dobbiamo intendere per condizioni *troppo semplici*. Sono quelle che conservano qualche cosa, che lasciano sussistere un invariante. Le equazioni differenziali del problema sono esse troppo semplici perché si possa applicare le leggi del caso? Questa domanda sembra a tutta prima priva di un senso preciso; ora sappiamo che cosa vuol dire. Esse sono troppo semplici se conservano qualchecosa, se ammettono una integrale uniforme; se qualchecosa delle condizioni iniziali resta inalterato, è chiaro che la situazione finale non potrà più essere indipendente dalla situazione iniziale.

E finalmente veniamo alla teoria degli errori. A che cosa siano dovuti gli errori accidentali noi lo ignoriamo, ed è appunto perché lo ignoriamo che noi sappiamo che essi obbediranno alla legge di Gauss. Tale è il paradosso; e si spiega press'a poco nello stesso modo dei casi precedenti. Noi abbiamo bisogno di sapere soltanto una cosa: che gli errori sono molto numerosi, che sono piccolissimi, che ciascuno di essi può essere tanto negativo che positivo. Qual'è la curva di probabilità di ciascuno di essi? Non ne sappiamo nulla; supponiamo soltanto che questa curva è simmetrica. Si dimostra allora che l'errore resultante è indipendente dalle leggi particolari che non conosciamo.

Anche qui la semplicità del resultato è nata dalla stessa complicazione dei dati.

## VII.

Ma non abbiamo ancora finito coi paradossi. Riprendo ora la finzione di Flammarion, quella dell'uomo che corre più velocemente della luce e per il quale il tempo ha cambiato di segno; ho detto che per lui tutti i fenomeni apparirebbero dovuti al caso.

Questo è vero da un certo punto di vista, e nonpertanto quei fenomeni, a un dato istante, non sarebbero distribuiti conformemente alle leggi del caso, perché lo sarebbero come per noi, che, vedendoli svolgersi armoniosamente e senza uscire da un caos primitivo, non li consideriamo come regolati dal caso.

Che cosa vuol dire questo? Per Lumen, l'uomo di Flammarion, delle piccole cause sembrano produrre dei grandi effetti; perché la cosa non avviene come per noi quando crediamo vedere dei grandi effetti dovuti a piccole cause? Lo stesso ragionamento non sarebbe applicabile al suo caso?

Ritorniamo su quel ragionamento: quando delle piccole differenze nelle cause ne generano delle grandi negli effetti, perché questi effetti siano distribuiti secondo le leggi del caso? Supponga che una differenza di un millimetro sulla causa, produca la differenza di un chilometro nell'effetto. Se io debbo fare una vincita nel caso che l'effetto corrisponda a un chilometro portante un numero pari, la mia probabilità di vincere sarà $\frac{1}{2}$

Perché? Perché è necessario che la causa corrisponda a un millimetro di numero pari. Ora, secondo tutte le apparenze, la probabilità perché la causa varî fra certi limiti, sarà proporzionale alla distanza di quei limiti, purché questa distanza sia piccolissima. Se non si ammettesse questa ipotesi, non vi sarebbe più modo di rappresentare la probabilità con una funzione continua.

Che cosa succederà ora quando delle grandi cause produrranno dei piccoli effetti? È il caso nel quale noi non attribuiremmo il fenomeno al caso e nel quale invece Lumen lo

attribuirebbe al caso. A una differenza di un chilometro nella causa corrisponderebbe una differenza di un millimetro nell'effetto. La probabilità perché la causa sia compresa entro due limiti distanti fra loro di *n* chilometri, sarà ancora proporzionale ad *n*? Non abbiamo nessuna ragione di supporlo, poiché questa distanza di *n* chilometri è grande. Ma la probabilità perché l'effetto resti compreso fra due limiti distanti fra loro *n* millimetri sarà precisamente la stessa; essa non sarà dunque proporzionale a *n* e ciò nonostante che questa distanza di *n* millimetri sia piccola. Non c'è dunque modo di rappresentare la legge di probabilità degli effetti con una curva continua. Ma intendiamoci bene: questa curva potrà restare continua nel senso *analitico* della parola e a delle variazioni *infinitamente piccole* dell'ascissa corrisponderanno delle variazioni infinitamente piccole dell'ordinata.

Ma *praticamente* essa non sarebbe continua perché a delle variazioni *piccolissime* dell'ascissa non corrisponderebbero delle variazioni piccolissime dell'ordinata. Diverrebbe impossibile tracciare la curva con un lapis ordinario; ecco quello che voglio dire.

Che cosa dunque dobbiamo concludere? Lumen non ha il diritto di dire che la probabilità della causa (quella della *sua* causa, che per noi è l'effetto) deve necessariamente essere rappresentata da una funzione continua. Ma allora perché questo diritto lo abbiamo noi? Noi abbiamo questo diritto perché quello stato di equilibrio instabile che or ora chiamavamo iniziale, non è anch'esso che il punto d'arrivo d'una lunga storia anteriore. Nel corso di quella storia delle cause complesse hanno agito e hanno agito lungamente. Esse hanno contribuito a operare la mescolanza degli elementi e hanno teso a uniformare tutto, almeno in un piccolo spazio; hanno arrotondato gli angoli, livellato le montagne e colmato le vallate: per quanto capricciosa e irregolare abbia potuto essere la curva primitiva, hanno tanto lavorato a regolarizzarla che ne faranno finalmente una curva continua. Ed è per questo che noi possiamo ammetterne la continuità con la maggior fiducia.

Lumen non avrebbe le stesse ragioni per arrivare alle medesime conclusioni; a lui le cause complesse non apparirebbero come regolatrici e livellatrici; per lui non creerebbero invece che differenziazione e ineguaglianza. Egli vedrebbe uscire da una sorta di caos primitivo un mondo sempre più vasto; i cambiamenti che egli osserverebbe sarebbero per lui imprevisti e imprevedibili; gli sembrerebbero dovuti a chissà quale capriccio; ma questo capriccio sarebbe tutt'altra cosa del nostro caso, giacché sarebbe ribelle ad ogni legge, mentre il nostro caso ha le sue leggi. Tutti questi punti richiederebbero dei lunghi sviluppi che forse aiuterebbero a capir meglio la irreversibilità dell'universo.

## VIII.

Abbiamo cercato di definire il caso ed ora conviene porre una domanda: il caso essendo così definito nella misura in cui è possibile definirlo, ha un carattere oggettivo?

Ce lo possiamo domandare. Ho parlato delle cause molto piccole e molto complesse. Ma ciò che è piccolo per gli uni non può essere grande per gli altri, e ciò che sembra molto complesso agli uni non può apparire semplice agli altri? A queste domande ho già risposto in parte giacché ho detto più sopra in modo preciso in quale caso delle equazioni differenziali diventano tanto semplici che le leggi del caso non sono più applicabili. Ma bisogna esaminare la cosa un po' più da vicino giacché ci si può porre da altri punti di vista.

Che significa la parola piccolissimo? Per capirlo basta riportarsi a quello che abbiamo detto più sopra. Una differenza è piccolissima, un intervallo è piccolissimo quando nei limiti di questo intervallo la probabilità resta sensibilmente costante. E perché questa probabilità può essere considerata come costante in un piccolo intervallo? Perché noi ammettiamo che la legge di probabilità è rappresentata da una curva continua; e non soltanto continua nel senso analitico della parola, ma *praticamente* continua, come io ho spiegato più sopra. Questo vuol

dire che non solamente essa non presenterà nessun *hiatus* assoluto ma non avrà neppure dei salienti e delle rientranze troppo acuti e accentuati.

E chi ci dà il diritto di fare questa ipotesi? L'abbiamo detto più sopra: perché dal principio dei secoli vi sono delle cause complesse che non cessano di agire nello stesso senso e che fanno tendere costantemente il mondo verso l'uniformità senza che possa mai tornare indietro. Sono quelle cause che hanno a poco a poco abbattuto i salienti e riempito le rientranze, ed è per questo che le nostre curve di probabilità non offrono più che delle ondulazioni lente. Fra miliardi di miliardi di secoli avremo fatto un passo di più verso l'uniformità e quelle ondulazioni saranno dieci volte più lente: il raggio medio di curvatura della nostra curva sarà divenuto dieci volte più grande. E allora una certa lunghezza che oggi non ci sembra piccolissima, perché sulla nostra curva un arco di quella lunghezza non può essere considerato come rettilineo, dovrà invece a quell'epoca essere qualificato come piccolissimo, giacché la curvatura sarà divenuta dieci volte minore e un arco di quella lunghezza potrà essere sensibilmente assimilato a una retta.

Così questa parola *piccolissimo* resta relativa, ma non è relativa al tale uomo e a tal altro; è relativa allo stato attuale del mondo. Cambierà di senso quando il mondo sarà divenuto più uniforme, quando tutte le cose si saranno mescolate ancora di più. Ma allora senza dubbio gli uomini non potranno più vivere e dovranno far posto ad altri esseri; debbo dire molto più piccoli o molto più grandi? Di modo che il nostro criterio restando vero per tutti gli uomini, conserva un senso oggettivo.

E d'altra parte che vuol dire *molto complesso*? Ho già dato una soluzione ed è quella che ho ricordato al principio di questo paragrafo; ma ve ne sono altre. Le cause complesse, lo abbiamo detto, producono una mescolanza sempre più intima; ma dopo quanto tempo quella mescolanza ci soddisferà? Quando è che si saranno accumulate abbastanza complicazioni?

Quand'è che avremo sufficentemente scozzato le carte? Se mescoliamo due polveri, una bleu e l'altra bianca, arriva un momento nel quale la tinta del miscuglio ci appare uniforme; questo avviene a causa della infermità dei nostri sensi; il miscuglio sarà uniforme per il presbite che è costretto a guardarlo da lontano quando non lo sarà ancora per il miope. E quando sarà divenuto uniforme per tutte le viste, potremo ancora allontanare il limite con l'impiego degli strumenti. Non c'è da sperare che nessun uomo possa mai discernere la varietà infinita, che, se la teoria cinetica è vera, si dissimula sotto la apparenza uniforme di un gas. E pertanto se si accettano le idee di Gouy sul movimento browniano, non sembra che il microscopio sia sul punto di mostrarci qualchecosa di analogo?

Questo nuovo criterio è dunque relativo come il primo e se conserva un carattere oggettivo ciò dipende dal fatto che tutti gli uomini hanno press'a poco gli stessi sensi, che la potenza dei loro strumenti è limitata e che d'altronde non si servono dei loro strumenti che eccezionalmente.

## IX.

È lo stesso per le scienze morali e particolarmente per la storia. Lo storico è costretto a fare una scelta negli avvenimenti dell'epoca che studia; egli non racconta che quelli che gli sembrano i più importanti. Egli s'è dunque contentato di riferire gli avvenimenti più considerevoli del XVI secolo per esempio, come i fatti più notevoli del XVII secolo. Se i primi son sufficienti a spiegare i secondi, si dice che questi sono « conformi alle leggi della storia ». Ma se un grande avvenimento del XVII secolo si riconosce causato da un piccolo fatto del XVI secolo che nessuna storia riporta, che tutti hanno trascurato, allora si dice che quest'avvenimento è dovuto al caso; questa parola ha dunque lo stesso senso che ha nelle scienze fisiche; significa che delle piccole cause hanno prodotto dei grandi effetti.

Il più grande caso è la nascita di un grand'uomo. Per mero

caso si sono incontrate due cellule genitali, di sesso diverso, che contenevano precisamente, ognuna da parte sua, gli elementi misteriosi la cui reciproca reazione doveva produrre il genio. Siamo d'accordo che quegli elementi debbono essere rari e che il loro incontro è ancora più raro. Poco sarebbe bastato per deviare dalla sua strada lo spermatozoo che aveva quegli elementi; sarebbe bastata una deviazione di un decimo di millimetro perché Napoleone non nascesse e il destino di un continente fosse cambiato. Nessun esempio può far meglio intendere i veri caratteri del caso.

Una parola ancora sui paradossi a cui ha dato luogo la applicazione del calcolo delle probabilità alle scienze morali. È stato dimostrato che nessuna Camera non conterrebbe mai nessun deputato dell'opposizione; o che almeno un tale avvenimento sarebbe talmente improbabile che si potrebbe senza alcun timore scommettere il contrario e scommettere un milione contro un soldo. Condorcet si è sforzato di calcolare quanti giurati erano necessari, per rendere praticamente impossibile un errore giudiziario. Se si fossero utilizzati i resultati di quel calcolo, ci si sarebbe certamente esposti alle medesime disillusioni alle quali ci espone scommettendo, sulla fiducia nel calcolo, che l'opposizione non avrebbe mai nessun rappresentante.

Le leggi del caso non si applicano a queste questioni. Se la giustizia non decide in base alle buone ragioni, essa usa meno che non si creda il metodo di Bridoye; è forse deprecabile, giacché allora il sistema di Condorcet ci metterebbe al riparo degli errori giudiziari.

Che cosa vuol dire questo? Noi siamo indotti ad attribuire al caso i fatti di questo genere perché le cause sono oscure; ma non è questo il vero caso. Le cause ci sono sconosciute, è vero, ed esse sono anche complesse ma non lo sono abbastanza giacché conservano qualchecosa; abbiamo visto che è questo che distingue le cause « troppo semplici ». Quando gli uomini sono vicini non si decidono più a caso e indipendentemente gli uni dagli altri. Essi reagiscono gli uni sugli altri. Delle cause multiple entrano

in azione, turbano gli uomini, li trascinano a destra e a sinistra, ma c'è qualchecosa che non possono distruggere, ed è le loro abitudini di montoni di Panurgo. Ed è questo che non muta.

X.

Anche la applicazione del calcolo delle probabilità alle scienze esatte porta con sé molte difficoltà. Perché i decimali di una tavola di logaritmi, perché quelli del numero $\pi$ sono distribuiti secondo le leggi del caso? Ho già altrove studiato la questione per quel che concerne i logaritmi, e lì è facile. È chiaro che una piccola differenza sull'argomento darà una piccola differenza sul logaritmo ma una grande differenza sul sesto decimale del logaritmo. Ritroviamo sempre lo stesso criterio.

Ma per il numero $\pi$ le difficoltà sono maggiori e per il momento non ho nulla di buono da dire.

Ci sarebbero molte altre questioni da sollevare se le volessi affrontare prima d'aver risolto quella che più specialmente m'ero proposta. Quando constatiamo un resultato semplice, quando per esempio troviamo un numero rotondo, diciamo che quel resultato non può essere dovuto al caso e per spiegarlo cerchiamo una causa non fortuita. E infatti non c'è che una debolissima probabilità perché tra 10.000 numeri il caso dia un numero rotondo, per esempio il numero 10.000; c'è solamente una probabilità su 10.000. Ma c'è anche una sola probabilità su 10.000 perché il caso dia un altro numero qualsiasi; e ciò nonostante questo resultato non ci meraviglierà, e non ci repugnerà di attribuirlo al caso. E ciò semplicemente perché sarà meno impressionante.

In ciò v'è da parte nostra una semplice illusione, oppure vi son dei casi in cui questo modo di vedere è legittimo? Bisogna sperarlo giacché altrimenti nessuna scienza sarebbe possibile. Quando vogliamo controllare un'ipotesi che cosa facciamo? Non potendone verificare tutte le conseguenze perché sarebbero in numero infinito, ci contentiamo di verificarne qualcheduna e se riusciamo dichiariamo che l'ipotesi è confermata giacché tanti

successi non potrebbero essere dovuti al caso. E in fondo è sempre lo stesso ragionamento.

Io non posso qui completamente giustificarlo giacché ciò mi prenderebbe troppo tempo; ma posso dire almeno questo: che ci troviamo in presenza di due ipotesi: o una causa semplice, o quell'insieme di cause complesse che chiamiamo caso. Troviamo naturale ammettere che la prima deve produrre un resultato semplice, e allora se constatiamo quel resultato semplice, per esempio il numero rotondo, ci sembra più verosimile attribuirlo alla causa semplice che doveva darcelo quasi certamente, piuttosto che al caso il quale non poteva darcelo che una volta su 10.000. Non sarà la stessa cosa se constatiamo un caso che non è semplice; il caso, è vero, non ce lo darà che una volta su 10.000; ma la causa semplice non ha più maggior probabilità di produrlo.

## SIGNIFICATO DELLE TEORIE FISICHE [1]

La gente è spesso colpita nel vedere quanto siano effimere le teorie scientifiche.

Dopo qualche anno di prosperità le vede una dopo l'altra abbandonate, vede le rovine accumularsi sulle rovine, prevede che le teorie che sono oggi di moda dovranno presto soccombere e da questo conclude che esse sono assolutamente vane. E chiama tutto ciò *fallimento della scienza*.

Questo scetticismo è superficiale; non si rende nessun conto, la gente, dello scopo e del compito delle teorie scientifiche; se se ne rendesse conto capirebbe che anche le rovine possono essere buone a qualchecosa.

Nessuna teoria sembrava più solida di quella di Fresnel che attribuiva la luce ai movimenti dell'etere. Ciononostante oggi si preferisce a quella teoria la teoria di Maxwell. Questo vuol forse dire che l'opera di Fresnel è stata vana? No, perché lo scopo di Fresnel non era di sapere se c'è realmente un etere, se è o no fatto di atomi, se questi atomi si muovono realmente in un senso o nell'altro; ma era di prevedere i fenomeni ottici. Ora, questo la teoria di Fresnel lo permette ancora, oggi come prima di Maxwell. Le equazioni differenziali sono sempre vere; si possono sempre integrare coi medesimi procedimenti, e i resultati di quella integrazione conservano ancora tutto il loro valore.

---

(1) Da *La Science et l'Hypothèse*, ediz. cit., pp. 189 a 202.

E che non ci si venga a dire che riduciamo in questo modo le teorie fisiche a semplici ricette pratiche. Quelle equazioni esprimono dei rapporti, e se le equazioni restano vere, ciò dipende dal fatto che quei rapporti conservano la loro realtà.

Esse ci insegnano ora come prima che c'è il tale rapporto fra qualche cosa e qualche altra cosa; soltanto, questo qualchecosa prima lo chiamavano *movimento*, ora lo chiamano *corrente elettrica*. Ma queste denominazioni non erano che immagini sostituite agli oggetti reali che la Natura ci nasconderà eternamente. I rapporti veri fra quegli oggetti reali sono la sola realtà che noi possiamo raggiungere, ed alla sola condizione che vi siano gli stessi rapporti fra quegli oggetti e fra le immagini che siamo costretti a mettere al loro posto. Se quei rapporti ci sono noti, che importa se giudichiamo comodo di rimpiazzare un'immagine con un'altra?

Che il tale fenomeno periodico (una oscillazione elettrica per esempio) sia realmente dovuta alla vibrazione di un tale atomo che, comportandosi come un pendolo, si sposta veramente in un senso o in un altro, ecco qualchecosa che non è né certo né interessante. Ma che vi sia fra la oscillazione elettrica, il movimento del pendolo e tutti i fenomeni periodici una parentela intima che corrisponde a una realtà profonda; che questa parentela, questa similitudine, o piuttosto questo parallelismo prosegua nel particolare, che sia una conseguenza di principi più generali, quello dell'energia e quella della minima azione, ecco la verità che resterà sempre la stessa qualunque sia la veste che crederemo utile darle.

Sono state proposte numerose teorie della dispersione. Le prime erano imperfette e non contenevano che una debole parte di verità. In seguito è venuta la teoria di Helmholtz; che è stata poi modificata in vari modi; e lo stesso suo autore ne ha immaginata un'altra fondata sui principi di Maxwell. Ma, cosa notevole, tutti gli scienziati che sono venuti dopo Helmholtz sono arrivati alle stesse equazioni, partendo da punti di partenza in apparenza molto lontani l'uno dall'altro. Oserei dire che quelle

teorie sono tutte vere, non solo perché ci fanno prevedere gli stessi fenomeni, ma perché esse mettono in evidenza un rapporto vero, quello dell'assorbimento e della dispersione anomala. Nelle premesse di quelle teorie ciò che vi è di vero è ciò che è comune a tutti gli autori; è l'affermazione di tale o tal altro rapporto fra certe cose che gli uni chiamano con un nome e gli altri con un altro.

La teoria cinetica dei gas ha dato luogo a molte obiezioni, alle quali sarebbe difficile rispondere se si avesse la pretesa di vedere nella teoria la verità assoluta. Ma tutte quelle obiezioni non impediranno che la teoria sia stata utile e che lo sia stata in particolar modo per averci rivelato un rapporto vero e profondamente nascosto: quello della pressione gassosa e della pressione osmotica. In questo senso si può dunque dire che essa è vera.

Quando un fisico constata una contradizione fra due teorie che gli sono egualmente care, egli dice talvolta: « non ci inquietiamo per questo, ma teniamo ben fermi i due capi della catena nonostante che gli anelli intermedi ci sieno nascosti ». Questo argomento da teologo imbarazzato sarebbe ridicolo se si dovesse attribuire alle teorie fisiche il senso che dà loro la gente. In caso di contradizione una almeno di esse dovrebbe essere considerata falsa. Ma non è così se nelle teorie fisiche si cerca soltanto quello che ci si deve cercare. Può darsi che l'una e l'altra esprimano dei rapporti veri e che non vi sia contradizione che nelle immagini con le quali noi abbiamo vestita la realtà.

A coloro i quali trovano che restringiamo troppo il dominio accessibile allo scienziato, risponderò: quei problemi che noi interdiciamo e che voi rimpiangete non soltanto sono insolubili ma sono illusori e privi di senso.

Un filosofo pretende che tutta la fisica si spiega con gli urti reciproci degli atomi. Se egli vuol dire semplicemente che fra i fenomeni fisici ci sono gli stessi rapporti che sono fra gli urti di un gran numero di bilie, nulla di meglio, ciò è verificabile, ciò è forse vero. Ma egli vuol dire qualche cosa di più; e noi

crediamo di capirlo perché crediamo di sapere ciò che è l'urto in sé; perché? Semplicemente perché abbiamo veduto spesso delle partite di biliardo. Intenderemo noi dire che Dio contemplando la sua opera prova le stesse sensazioni che proviamo noi in presenza di una partita di biliardo? Se non vogliamo dare alla asserzione di quel filosofo questo bizzarro significato, e se nemmeno vogliamo dargli il significato ristretto che ora spiegherò e che è quello buono, quella asserzione non ne ha alcuno.

Le ipotesi di questo genere non hanno dunque che un senso metaforico. Lo scienziato non deve interdirsele allo stesso modo che il poeta non si interdice le metafore; ma deve sapere quello che valgono. Esse possono essere utili per dare in certo modo una soddisfazione al nostro spirito, e non saranno nocive purché sieno delle ipotesi indifferenti.

Queste considerazioni ci spiegano perché certe teorie che credevamo abbandonate e definitivamente condannate dall'esperienza, rinascono a un tratto dalle loro ceneri e ricominciano una nuova vita. Ciò avviene perché esse esprimevano dei rapporti veri e perché non avevano cessato di esprimerli quando, per una ragione o per l'altra, noi avevamo creduto di dovere enunciare gli stessi rapporti con un altro linguaggio. Esse avevano conservato una sorta di vita latente.

Appena quindici anni fa, che c'era di più ridicolo, di più ingenuamente vecchio dei fluidi di Coulomb? Eppure ecco che essi riappaiono col nome di *elettroni*. In che cosa queste molecole elettrizzate in modo permanente differiscono dalle molecole elettriche di Coulomb? È vero che negli elettroni la elettricità è sostenuta da un po' di materia, ma così poca! In altri termini esse hanno una massa (e d'altronde ecco che oggi quella massa vien loro contestata); ma Coulomb non rifiutava la massa ai suoi fluidi, o, se lo faceva, lo faceva malvolentieri. Sarebbe temerario affermare che la credenza negli elettroni non subirà alcuna eclissi; ad ogni modo questa curiosa rinascita inattesa meritava di esser constatata.

Ma l'esempio che colpisce maggiormente è il principio di

Carnot. Carnot lo ha stabilito partendo da ipotesi false. Quando ci si accorse che il calore non è indistruttibile, ma può essere trasformata in lavoro, si abbandonarono completamente le sue idee; poi Clausius le riprese e le fece definitivamente trionfare. La teoria di Carnot nella sua forma primitiva esprimeva, insieme a rapporti veri, altri rapporti inesatti, rottami di vecchie idee; ma la presenza di questi ultimi non alterava la realtà degli altri. Clausius non ha dovuto far altro che scartarli come si potano dei rami morti.

Il resultato è stata la seconda legge fondamentale della termodinamica. Erano sempre gli stessi rapporti nonostante che non avessero più luogo, almeno in apparenza, fra gli stessi oggetti. Era abbastanza perché il principio conservasse il suo valore. E nemmeno sono periti i ragionamenti di Carnot: essi si applicavano a una materia macchiata d'errore; ma la loro forma (che è quanto dire l'essenziale) restava corretta.

Ciò che ho detto chiarisce il compito dei principi generali, quali il principio della minima azione, o quello della conservazione dell'energia.

Quei principi hanno un valore altissimo; li abbiamo ottenuti cercando ciò che v'era di comune fra gli enunciati delle numerose leggi fisiche; rappresentano dunque come la quintessenza di innumerevoli osservazioni.

Oltretutto dalla loro stessa generalità resulta una conseguenza (sulla quale ho richiamata l'attenzione nel capitolo « Energia e Termodinamica ») ed è che non possono più non essere verificati. Siccome non possiamo dare una definizione generale dell'energia, il principio della conservazione dell'energia significa semplicemente che c'è *qualchecosa* che resta costante. Ebbene, quali che siano le nozioni nuove sul mondo che le esperienze future ci daranno, noi siamo anticipatamente sicuri che ci sarà qualchecosa che resterà costante e che potremo chiamare *energia*.

Questo vuol forse dire che il principio non ha alcun senso e svanisce in una tautologia? Niente affatto. Significa che le cose

diverse alle quali diamo il nome di *energia* sono legate da una vera parentela; afferma fra loro un rapporto reale. Ma allora se quel principio ha un senso, può essere falso; può darsi che non si abbia il diritto di estenderne indefinitamente le applicazioni, e nonostante è certo in anticipo di esser verificato nella accezione stretta della parola. Come dunque saremo noi avvertiti che avrà raggiunto tutta l'estensione che gli si può dare legittimamente? Semplicemente quando cesserà di esserci utile, cioè quando cesserà di farci prevedere, senza ingannarci, dei fenomeni nuovi. Saremo sicuri in quel caso che il rapporto affermato non è più reale; giacché altrimenti sarebbe fecondo. L'esperienza, senza contradire direttamente una nuova estensione del principio, l'avrà ciononstante condannato.

## La Fisica e il Meccanicismo

La maggior parte dei teorici ha una predilezione costante per le spiegazioni prese a prestito dalla meccanica o dalla dinamica. Gli uni sarebbero soddisfatti se potessero rendere conto di tutti i fenomeni coi movimenti delle molecole attivantesi reciprocamente secondo certe leggi. Gli altri sono più esigenti, e vorrebbero sopprimere le attrazioni a distanza; le loro molecole seguirebbero delle traiettorie rettilinee dalle quali non potrebbero essere deviate che da urti. Altri ancora, come Hertz, sopprimono le forze ma suppongono le loro molecole sottoposte a legami geometrici analoghi, per esempio, a quelli dei nostri sistemi articolati; essi vogliono, così, ridurre la dinamica a una sorta di cinematica.

Tutti, in una parola, vogliono piegare la natura a una certa forma fuori della quale il loro spirito non sa essere soddisfatto. Ma la natura sarà così flessibile? Esamineremo questa questione in seguito, parlando della teoria di Maxwell.

Ogni volta che i principî dell'energia e della minima azione sono soddisfatti, noi vedremo non solo che c'è una spiegazione meccanica possibile, ma che ce n'è sempre una infinità. Grazie

a un teorema ben conosciuto di Königs sopra i sistemi articolati, si potrebbe mostrare che si può spiegar tutto, in infiniti modi, con dei legami al modo di Hertz, o anche con delle forze centrali. Si dimostrerebbe indubbiamente con eguale facilità che tutto può essere sempre spiegato con dei semplici urti.

Per questo è necessario, beninteso, non accontentarsi della materia volgare, di quella che cade sotto i nostri sensi e di cui noi osserviamo direttamente i movimenti. O supporremo che questa materia volgare è formata di atomi i cui movimenti interni ci sfuggono, restando solo accessibile ai nostri sensi lo spostamento di insieme; o immagineremo qualcheduno di quei fluidi sottili che sotto il nome di *etere* o sotto altri nomi hanno sempre avuto una parte così grande nelle teorie fisiche.

Spesso si va anche più lontano e si considera l'etere come la sola materia primitiva o anche come la sola vera materia. I più moderati considerano la materia volgare come dell'etere condensato, il che non è per nulla urtante; ma altri ne riducono ancora l'importanza e non vi vedono che il luogo geometrico delle singolarità dell'etere. Per esempio, per Lord Kelvin, quel che noi chiamiamo *materia* non è che il luogo dei punti dove l'etere è animato da movimenti vorticosi; per Riemann era il luogo dei punti dove l'etere è costantemente distrutto; per altri autori più recenti, Wiechert o Larmor, è il luogo dei punti dove l'etere subisce una sorta di torsione d'una natura tutta particolare. Se ci vogliamo porre in uno di quei punti di vista, mi domando con quale diritto estenderemo all'etere, col pretesto che esso è la vera materia, le proprietà meccaniche osservate sulla materia volgare, la quale non è che della falsa materia.

Gli antichi fluidi, calorico, elettricità ecc., sono stati abbandonati quando ci siamo accorti che il calore non è indistruttibile. Ma sono stati abbandonati anche per un'altra ragione. Materializzandoli si accentuava, per così dire, la loro individualità, si scavava fra di loro una sorta d'abisso. Ed è stato necessario colmarlo quell'abisso quando si è avuto un senso più vivo dell'unità della natura, e che si sono scorte tutte le relazioni intime che ne le-

gano tutte le parti. Non soltanto gli antichi fisici, moltiplicando i fluidi, creavano degli esseri senza necessità, ma spezzavano dei veri legami.

Non basta che una teoria non affermi rapporti falsi, bisogna che non dissimuli rapporti veri.

E il nostro etere esiste realmente?

Sappiamo di dove viene la credenza all'etere. Se la luce ci viene da una stella lontanissima, durante molti anni essa non è più sulla stella e non è ancora sulla terra; bisogna che allora sia in qualche luogo e sostenuta, per così dire, da un supporto materiale.

Si può esprimere la stessa idea in una forma più matematica e più astratta. Quel che noi constatiamo sono i cambiamenti subiti dalle molecole materiali; vediamo, per esempio, che la nostra lastra fotografica prova le conseguenze dei fenomeni di cui la massa incandescente della stella è stata il teatro molti anni prima. Ora, nella meccanica ordinaria, lo stato del sistema studiato non dipende che dal suo stato in un istante immediatamente anteriore; il sistema soddisfa dunque a delle equazioni differenziali. Invece se noi non crediamo all'etere, lo stato dell'universo materiale dipenderebbe non soltanto dallo stato immediatamente anteriore, ma da stati molto più antichi; il sistema soddisferebbe le equazioni di differenze finite. Per sfuggire a questa derogazione dalle leggi generali della meccanica abbiamo inventato l'etere.

Tutto questo ci obbligherebbe solo a riempire con l'etere il vuoto interplanetario, ma non a farlo penetrare anche entro i mezzi materiali. L'esperienza di Fizeau va più in là. Con la interferenza dei raggi che hanno attraversato dell'aria o dell'acqua in movimento, essa sembra mostrarci due mezzi diversi penetrantisi e ciononostante spostantisi l'uno relativamente all'altro. Crediamo di toccar l'etere col dito.

Si possono però immaginare altre esperienze che ce lo farebbero toccare ancor meglio. Supponiamo che il principio di Newton dell'eguaglianza dell'azione e della reazione non sia più vero se lo si applica alla *sola* materia, e che si giunga a constatarlo. La

somma geometrica di tutte le forze applicate a tutte le molecole materiali non sarebbe più nulla. Bisognerebbe, se non si vuol cambiare tutta la meccanica, introdurre l'etere, perché questa azione che la materia sembra subire fosse controbilanciata dalla reazione della materia su quelche cosa.

Oppure suppongo anche che si riconosca che i fenomeni ottici sono influenzati dal movimento della Terra. Saremmo condotti a concludere che quei fenomeni potrebbero rivelarci non soltanto i movimenti relativi dei corpi materiali, ma ciò che sembrerebbero essere i loro movimenti assoluti. Bisognerebbe ancora che ci fosse un etere perché quei sedicenti movimenti assoluti non fossero i loro spostamenti in rapporto a uno spazio vuoto, ma i loro spostamenti in rapporto a qualche cosa di concreto.

Arriveremo mai fin là? Non ho questa speranza — dirò tra breve perché — eppure essa non è così assurda se altri l'hanno avuta.

Per esempio, se la teoria di Lorenz, di cui parlerò in seguito, fosse vera, il principio di Newton non si applicherebbe alla materia *sola* e la differenza non sarebbe molto lontana dall'essere accessibile all'esperienza.

D'altra parte si sono fatte molte esperienze sulla influenza del movimento della terra. I resultati sono stati sempre negativi. Ma se si sono affrontate quelle esperienze ciò vuol dire che non si era sicuri dei resultati, e inoltre, secondo le teorie regnanti, la compensazione non sarebbe che approssimativa e ci si dovrebbe aspettare di vedere dei metodi precisi dare dei resultati positivi.

Credo che una tale speranza sia illusoria; ma nonostante ciò era curioso far notare che un successo di quel genere ci aprirebbe, in certo qual modo, un mondo nuovo.

Ed ora mi sia permessa una digressione: debbo spiegare, infatti, perché non credo, nonostante Lorenz, che delle osservazioni più precise possano mettere in evidenza nulla più che gli spostamenti relativi dei corpi materiali.

Si sono fatte delle esperienze che avrebbero dovuto rivelare i termini del primo ordine; i resultati sono stati negativi. È pos-

sibile che questo sia avvenuto per caso? Nessuno lo ha ammesso; si è cercato una spiegazione generale e Lorenz l'ha trovata; egli ha dimostrato che i termini del primo ordine dovevano distruggersi, ma non era lo stesso riguardo ai termini del secondo ordine. Allora furono fatte esperienze più precise; anche queste resultarono negative. Non poteva essere nemmeno questa volta l'effetto del caso; era necessaria una spiegazione e la spiegazione è stata trovata: di ipotesi non avremo mai scarsità.

Ma ciò non basta; chi non sente che anche questo è un modo di lasciar troppa parte al caso? Non sarà un caso anche quello che farebbe giungere proprio a tempo giusto una certa circostanza per distruggere i termini del primo ordine, e che un'altra circostanza affatto diversa ma egualmente opportuna si incarichi di distruggere quelli del secondo ordine? No, bisogna trovare una stessa spiegazione tanto per gli uni come per gli altri, e allora tutto ci induce a pensare che questa spiegazione varrà egualmente per i termini d'ordine superiore e che la mutua distruzione di quei termini sarà rigorosa e assoluta.

## ESPERIENZA E GENERALIZZAZIONE (1)

L'esperienza è la sorgente unica della verità; essa soltanto può insegnarci qualcosa di nuovo; essa soltanto può darci la certezza. Ecco due punti che nessuno può contestare.

Ma allora se l'esperienza è tutto, che posto resterà per la fisica matematica? Che cosa se ne fa la fisica sperimentale di un tale ausiliario che sembra inutile e forse anche pericoloso? Eppure la fisica matematica esiste ed essa ha reso dei servizi innegabili; è questo un fatto che bisogna spiegare.

È che non basta osservare; bisogna anche servirsi delle osservazioni, e per far ciò bisogna generalizzare.

È appunto quel che si è sempre fatto; ma siccome il ricordo degli errori passati ha reso l'uomo sempre più circospetto, si è osservato sempre di più e si è generalizzato sempre meno.

Ogni secolo canzonava il precedente accusandolo di aver generalizzato troppo presto e troppo ingenuamente. Descartes aveva pietà degli Joni; Descartes a sua volta ci fa sorridere. Senza dubbio un giorno i nostri figlioli rideranno di noi.

Ma allora non potremmo andare subito fino in fondo? Non sarebbe questo un modo per evitare quelle canzonature che prevediamo? Non potremmo contentarci della nuda esperienza?

No, questo non è possibile. Questo equivarrebbe a disconoscere il vero carattere della scienza. Lo scienziato deve ordinare;

---

(1) Da *La Science et l'Hypothèse*, ediz. cit., pp. 167 a 172.

La scienza si fa coi fatti come si fa una casa colle pietre; ma un cumulo di fatti non è una scienza, come un mucchio di pietre non è una casa.

E innanzi tutto lo scienziato deve prevedere. Carlyle ha detto, non ricordo più dove, qualche cosa di questo genere: « Il fatto solo importa. Giovanni Senza-terra è passato di qui; questo è meraviglioso, e questa è una realtà per la quale darei tutte le teorie del mondo ». Carlyle era un compatriotta di Bacone; ma Bacone non avrebbe detto una cosa simile. Quello è il linguaggio dello storico. Il fisico direbbe invece: « Giovanni Senza-terra è passato di qui; ciò mi è indifferente perché Giovanni Senza-terra non ripasserà più di qui ».

Noi tutti sappiamo che vi sono buone esperienze e che ve ne sono delle cattive. Queste ultime s'accumuleranno invano, che se ne sian fatte cento, che se ne sian fatte mille, basterà un solo lavoro di un vero maestro, di un Pasteur per esempio, per farle cadere tutte nell'oblio. Bacone avrebbe capito questo molto bene; è lui che ha inventato il motto *experimentum crucis*. Ma Carlyle non poteva capirlo. Un fatto è un fatto. Uno scolaro ha letto un tal numero sul suo termometro, non aveva preso nessuna precauzione; non importa, l'ha letto, e se non c'è che il fatto che conta, questo fatto è una realtà come le peregrinazioni del re Giovanni Senza-terra. Ma perché il fatto della lettura dello scolaro è senza interesse alcuno, mentre il fatto che un fisico abile abbia fatto un'altra lettura può essere invece molto importante? Perché dalla lettura dello scolaro non possiamo concludere nulla. Che cosa è dunque una buona esperienza? È quella che ci fa conoscere qualche cosa di più di un fatto isolato; è quella che ci permette di prevedere, che ci permette cioè di generalizzare.

Giacché senza generalizzazione la previsione è impossibile. Le circostanze nelle quali abbiamo operato non si riprodurranno mai tutte in una volta. Il fatto osservato dunque non ricomincerà mai, la sola cosa che potremo affermare è che in circostanze analoghe un fatto analogo si riprodurrà.

Per prevedere bisogna dunque invocare almeno la analogia,

che è quanto dire generalizzare digià. Per quanto si possa essere timidi bisogna pure interpolare; l'esperienza non ci dà che un certo numero di punti isolati; bisogna riunirli con un tratto continuo, e questa è una vera generalizzazione. Ma facciamo di più: la curva che tracceremo passerà fra i punti osservati e vicino a questi punti; non passerà per i punti stessi. E così non ci si limita a generalizzare l'esperienza, la si corregge; e il fisico che volesse astenersi da quelle correzioni e contentarsi veramente della nuda esperienza sarebbe obbligato ad enunciare delle leggi ben straordinarie.

I fatti nudi dunque non ci potrebbero bastare; per questo abbiamo bisogno della scienza ordinata, o meglio, organizzata.

Si dice spesso che bisogna sperimentare senza idee preconcette. Questo non è possibile; non soltanto ciò vorrebbe dire rendere sterile ogni esperienza; ma anche volendo non lo potremmo. Ognuno porta in sé la sua concezione del mondo della quale non può facilmente disfarsi. Bisogna pure, a mo' d'esempio, che ci serviamo del linguaggio, e il nostro linguaggio è tutto impastato di idee preconcette. E non potrebbe essere impastato d'altro. Soltanto sono idee preconcette incoscienti, e queste sono mille volte più pericolose delle altre.

Diremo noi che facendone intervenire altre di cui abbiamo piena coscienza non facciamo che aggravare il male? Non lo credo; penso piuttosto che queste e le altre faranno reciprocamente da contrappeso; stavo per dire da antidoto. S'accorderanno generalmente male fra loro; entreranno in conflitto le une contro le altre e per questo appunto ci obbligheranno a considerare le cose sotto differenti aspetti. Basta questo per liberarci: non si è più schiavi quando si può scegliere il padrone.

Così, grazie alla generalizzazione, ogni fatto osservato ce ne fa prevedere molti; soltanto non dobbiamo dimenticare che il primo solo è certo e che tutti gli altri non sono che probabili. Per quanto una previsione ci possa apparire solidamente basata non siamo mai sicuri, *assolutamente* sicuri che la esperienza non la smentirà quando ne intraprenderemo la verificazione. Ma la

probabilità è spesso tanto grande quanto basta perché ce ne possiamo accontentare. Val meglio prevedere senza certezza, piuttosto che non prevedere affatto.

Non bisogna dunque mai trascurare di fare una verificazione quando l'occasione si presenta. Ma ogni esperienza è lunga e difficile, i laboratori sono pochi, e il numero dei fatti che abbiamo bisogno di prevedere è immenso; al confronto di questa massa il numero delle verificazioni dirette che potremo fare sarà sempre una quantità trascurabile.

Da quel poco che possiamo direttamente raggiungere, bisogna trarre il miglior partito possibile; bisogna che ogni esperienza ci consenta il più gran numero possibile di previsioni e col maggior grado possibile di probabilità. Il problema è per così dire quello di aumentare il rendimento della macchina scientifica.

Permettetemi di paragonare la scienza a una biblioteca che deve essere continuamente accresciuta; il bibliotecario non dispone per i suoi acquisti che di crediti insufficienti; deve dunque sforzarsi di non dissiparli.

La fisica sperimentale è incaricata degli acquisti; essa soltanto può dunque arricchire la biblioteca. Quanto alla fisica matematica essa avrà per compito di compilare il catalogo. Se questo catalogo è ben fatto, la biblioteca non sarà per questo più ricca ma potrà aiutare il lettore a servirsi di quelle ricchezze. E inoltre mostrando al bibliotecario le lacune delle sue collezioni gli permetterà di fare un giudizioso impiego dei suoi crediti; il che è tanto più importante in quanto quei crediti sono insufficienti.

Tale è dunque il compito della fisica matematica: essa deve guidare la generalizzazione in modo da aumentare ciò che chiamavo or ora il rendimento della scienza.

Con quali mezzi essa vi giunge e come lo può fare senza pericolo è quello che bisogna esaminare.

## UNITÀ DELLA NATURA (1)

Osserviamo anzitutto che ogni generalizzazione suppone in certa misura la credenza nell'unità e nella semplicità della natura. Per la unità non ci possono essere difficoltà. Se le diverse parti dell'universo non fossero come gli organi d'uno stesso corpo, esse non agirebbero le une sulle altre, esse si ignorerebbero reciprocamente; e noi non ne conosceremmo che una sola. Non dobbiamo dunque domandarci *se* la natura è una, ma *come* è una.

Per il secondo punto, le cose non vanno così facilmente. Non è affatto sicuro che la natura sia semplice. Possiamo noi, senza pericolo, fare come se lo fosse?

Ci fu un tempo in cui la semplicità della legge di Mariotte era un argomento in favore della sua precisione; era il tempo nel quale lo stesso Fresnel dopo aver detto in una conversazione con Laplace che la natura si infischia delle difficoltà analitiche, si credeva in obbligo di dare delle spiegazioni per non urtare troppo l'opinione regnante.

Oggi le idee sono molto cambiate; e ciò nonostante coloro i quali non credono che le leggi naturali devono essere semplici, sono ancora costretti spesso a fare come se le credessero semplici. Non potrebbero interamente sottarsi a quella necessità senza ren-

---

(1) Da *La Science et l'Hypothèse*, ediz. cit., pp. 172 a 178.

dere impossibile qualsiasi generalizzazione e per conseguenza qualsiasi scienza.

È chiaro che un fatto qualsiasi si può generalizzare in infiniti modi; si tratta dunque di scegliere, e la scelta non può essere guidata se non da considerazioni di semplicità. Prendiamo il caso più banale, quello della interpolazione. Noi facciamo passare una linea continua la più regolare possibile fra i punti dati dalla osservazione. Perché evitiamo i punti angolosi, le inflessioni troppo brusche? Perché non facciamo descrivere alla nostra curva gli zig zag più capricciosi? Perché noi sappiamo già anticipatamente, o crediamo di saperlo, che la legge che dobbiamo esprimere non può essere così complicata.

Si può dedurre la massa di Giove sia dai movimenti dei suoi satelliti, sia dalle perturbazioni dei grossi pianeti, sia da quelle dei pianetini. Se si prende la media della determinazione ottenuta con questi tre metodi troviamo tre numeri molto vicini ma diversi. Si potrebbe interpretare questo resultato supponendo che il coefficiente di gravitazione non è lo stesso nei tre casi: le osservazioni sarebbero certamente assai meglio rappresentate. Perché scartiamo questa interpretazione? Non perché essa sia assurda ma perché è inutilmente complicata. Non la si accetterà che il giorno in cui essa si imporrà; e non si impone ancora.

Riassumendo, ogni legge è il più sovente reputata semplice fino a prova contraria.

Questa abitudine è imposta ai fisici per le ragioni che ho ora spiegate; ma come giustificarla di fronte a scoperte le quali ogni giorno ci mostrano nuovi dettagli più ricchi e più complessi? E come conciliarla col sentimento della unità della natura? Giacché se tutto dipende da tutto, i rapporti fra tanti oggetti diversi non possono più essere semplici.

Se studiamo la storia della scienza noi vediamo prodursi dei fenomeni per così dire inversi: talvolta è la semplicità che si nasconde sotto apparenze complesse, tal'altra invece è la semplicità che è apparente e che dissimula realtà estremamente complicate.

Che c'è di più complicato dei movimenti turbati dei pianeti,

che c'è di più semplice della legge di Newton? La natura, infischiandosi, come diceva Fresnel, delle difficoltà analitiche, non impiega se non mezzi semplici e con le combinazioni di questi genera non so quale intrico inestricabile. Quella è la semplicità nascosta, quella appunto che bisogna scoprire.

Gli esempi del contrario abbondano. Nella teoria cinetica dei gas, ci troviamo in presenza di molecole animate da grande velocità, le cui traiettorie deformate da urti incessanti, hanno le forme le più capricciose, e solcano lo spazio in tutti i sensi. Il resultato osservabile è la legge semplice di Mariotte; ogni fatto individuale era complicato; la legge dei grandi numeri ha ristabilita la semplicità nella media. Qui la semplicità non è che apparente, e solo la grossolanità dei nostri sensi ci impedisce di scorgere la complessità.

Molti fenomeni obbediscono a una legge di proporzionalità; ma perché? Perché in quei fenomeni c'è qualche cosa di molto piccolo. La legge semplice osservata non è allora che la traduzione di quella regola analitica generale secondo la quale l'accrescimento infinitamente piccolo d'una funzione è proporzionale all'accrescimento della variabile. Siccome in realtà questi nostri accrescimenti non sono infinitamente piccoli ma solo molto piccoli, la legge della proporzionalità non è che approssimativa e la semplicità non è che apparente. Quel che ho detto ora s'applica alla regola della sovrapposizione dei piccoli movimenti, il cui impiego è così fecondo ed è il fondamento dell'ottica.

E la stessa legge di Newton? La sua semplicità per tanto tempo nascosta, forse non è che apparente. Chissà che non sia dovuta a qualche meccanismo complicato, all'urto di qualche materia sottile animata da movimenti irregolari, e chissà che non sia diventata semplice soltanto per un gioco di medie e di grandi numeri? In ogni caso è difficile non supporre che la legge vera contiene dei termini complementari, che diverrebbero sensibili alle piccole distanze. Se in astronomia sono trascurabili di fronte a quello di Newton e se la legge ritrova così la sua semplicità, sarebbe unicamente a causa della enormità delle distanze celesti.

Senza dubbio se i nostri mezzi di investigazione divenissero sempre più penetranti noi scopriremmo il semplice sotto il complesso, poi il complesso sotto il semplice, poi di nuovo il semplice sotto il complesso e così via di seguito senza che ci fosse possibile prevedere quale sarebbe l'ultimo termine.

Ma bisogna pure fermarsi a un certo momento e perché la scienza sia possibile bisogna fermarsi quando si è trovata la semplicità. È questo il solo terreno sul quale potremo innalzare l'edificio delle nostre generalizzazioni. Ma essendo quella semplicità solo apparente, quel terreno sarà abbastanza solido? È proprio questa la ricerca che bisogna fare.

Vediamo perciò che parte ha sulle nostre generalizzazioni la credenza alla semplicità. Abbiamo verificato una legge semplice in un grande numero di casi particolari; ci rifiutiamo di ammettere che quell'incontro così spesso ripetuto sia un semplice effetto del caso e ne concludiamo che la legge deve essere vera nel caso generale.

Keplero nota che le posizioni di un pianeta osservate da Tycho sono tutte sopra una medesima ellisse. Egli non pensa nemmeno per un istante che per un gioco singolare del caso Tycho abbia guardato il cielo solo nel momento in cui la vera traiettoria del pianeta tagliava quella ellissi.

Che importa allora che la semplicità sia reale o che nasconda una verità complessa? Che sia dovuta alla influenza dei grandi numeri la quale livella le differenze individuali, che sia dovuta alla grandezza o alla piccolezza di certe quantità che permettono di trascurare certi termini? In ogni modo essa non è dovuta al caso. Questa semplicità reale o apparente ha sempre una causa. Potremo dunque far sempre lo stesso ragionamento e se una legge semplice è stata osservata in molti casi particolari, noi potremmo legittimamente supporre che essa sarà ancora vera nei casi analoghi. Rifiutare di credere questo, significherebbe attribuire al caso una parte inammissibile.

Ma c'è una differenza. Se la semplicità è reale e profonda, essa resisterà alla crescente precisione dei nostri mezzi di misura;

se dunque noi crediamo la natura profondamente semplice, noi dovremmo concludere da una semplicità approssimativa a una semplicità rigorosa. Una volta facevamo così; ora non abbiamo più il diritto di farlo.

La semplicità delle leggi di Keplero, per esempio, non è che apparente. Questo non impedisce che esse si applicheranno con molta approssimazione a tutti i sistemi analoghi al sistema solare, e questo non impedisce che esse sieno rigorosamente esatte.

## DEL LIBERO ESAME IN MATERIA SCIENTIFICA (1)

. . . . . .

La libertà è per la scienza ciò che l'aria è per l'uomo; priva di libertà, essa muore di asfissia come un uccello privato d'ossigeno. E questa libertà dev'esser senza limite, perché, se si volesse imporgliene, non si avrebbe se non una semi-scienza; e poiché una semi-scienza non è più la scienza, ove ciò avvenisse si avrebbe forzatamente una falsa scienza. Il pensiero non deve mai sottomettersi, né a un dogma, né ad un partito, né ad una passione, né ad un interesse, né a un'idea preconcetta, né a checchessia, se non ai fatti in se stessi, poiché per esso il sottomettersi sarebbe cessare di essere.

Dai lontani tempi in cui proibiva ai nostri primi parenti di toccare l'albero della scienza, le idee del buon Dio si sono indubbiamente molto allargate; io immagino che il meraviglioso artista il quale ha fatto il mondo non voglia che quest'incomparabile opera d'arte rimanga inutile, per mancanza di ammiratori; non voglia del pari che se ne conosca soltanto una cattiva riproduzione artificialmente mutilata. Se noi potessimo udir la sua voce, credo che essa ci direbbe: — Guardate bene e guardate tutto —, e non, invece: — Non guardate da questo lato; aspettate che alla Verità sia stata messa una foglia di fico —.

Se gl'inquisitori son finiti per sempre, può però ancora avve-

(1) Da *Dernières pensées*, ed. cit., pp. 325 a 342.

nire che un uomo sia punito per aver pensato. Se è raro che paghi con la vita, o anche con la libertà personale, le proprie idee, troppo spesso esse sono per lui l'origine di molti silenziosi affanni; lo espongono alla perdita di un posto o ai dispetti odiosi d'ipocriti persecutori i quali non hanno più il coraggio di professarsi francamente inquisitori. È dunque troppo, ancora; è chiaro che se bisogna essere un eroe per poter aprir gli occhi e per osare di dire quel che s'è visto, pochi saranno coloro che lealmente si varranno della vista o della parola, perché in questo mondo gli eroi saranno sempre rari; e, quel che è più grave, vi saranno sempre uomini che s'inganneranno e c'inganneranno, perché, guardando solo con trepidazione, in buona fede crederanno d'aver visto quel che è meno dannoso vedere. Bisogna dunque che qualsiasi costrizione legale o sociale esercitata sul pensiero sparisca fin quanto l'umana natura lo consente.

Arrossirei d'insistere; ma ciò concerne solo la libertà esteriore, e non basta; le catene peggiori son quelle che noi stessi ci forgiamo, e anche di esse bisogna liberarsi.

Se v'apprestate allo studio dei fenomeni con qualche credenza preconcetta, la quale v'è cara perché l'avete succhiata col latte, perché i maestri cui la dovete sono uomini virtuosi e degni di rispetto; se, inoltre, siete persuasi di non potervi rinunciare senza peccato, per quali dolorosi conflitti non dovrete passare allorché i fatti vengano a smentirla? È ad un'angoscia simile, che molti eminenti scienziati, i quali hanno conservata intera la loro fede o traccie della loro fede, si trovano esposti ogni giorno; per affrontar la luce, per poter applicare ai fatti una critica imparziale, e, dopo tale critica, sottomettersi ai fatti senza riserva, occorre ad essi più coraggio che a noi; essi abbisognano d'uno spirito meglio temprato e forse più veramente libero.

Ma uomini simili son rari. Quant'altri crederanno in buona fede di fare della scienza imparziale perché fanno appello, qualche volta, alla testimonianza dei fatti? Sì, è vero; ma essi li interrogano come i presidenti dei tribunali del passato, quelli della vecchia scuola, interrogavano i testimoni, cioè senza lasciarli tran-

quilli se non quando avevano detto ciò che si voleva dicessero. Ciò era detto giustizia, da quei magistrati; ed è quello che questi sedicenti scienziati chiamano scienza.

Vorrei studiare più da vicino il meccanismo per il quale questi uomini in buona fede son trascinati, a loro insaputa, dalle loro idee preconcette spesso fino all'errore. I fatti sono suscettibili d'interpretazioni molteplici, perché essi non sono mai conosciuti altro che imperfettamente. Fra queste interpretazioni, ce ne sono delle più verosimili di altre. Disgraziatamente, la valutazione della verosimiglianza è cosa delicata, sfuggevole, eminentemente soggettiva, sulla quale tutti i migliori spiriti non possono sempre concordare. L'accordo è raggiunto solo quando le verosimiglianze s'accumulano e, pur senza mai raggiungere la certezza matematica, promuovono una certezza pratica.

Ebbene: di due interpretazioni d'un fatto, l'uomo asservito a un dogma non sceglierà quella che giudicherebbe come la più ragionevole se non conoscesse che quel fatto isolato, bensì quella che è meno contraria alla verità ch'egli credeva conoscere prima di averlo osservato. È quella ch'egli considererà come verosimile e, fin qui, è nel suo diritto. La sua spiegazione potrà parere strana, ma, dopo tutto, cose strane in questo mondo ce ne son molte.

Se non che, dopo questo fatto egli ne osserverà un secondo e poi un terzo; per ogni fatto egli troverà una spiegazione nuova, e siccome ciascuna d'esse non sarà inverosimile che a mezzo, egli crederà che tutto vada per il meglio, non osserverà che le inverosimiglianze s'accumulano, e non oserà confessare a se stesso ch'egli si sarebbe retratto dinanzi a tal mucchio di assurdità, qualora esse si fossero presentate a lui contemporaneamente, e non l'una dopo l'altra.

Sarà fierissimo di poter dire: — Ecco, abbiamo risposta a tutto! — Solo gli avvocati (e mi scuso con loro) si contentano così a buon mercato e sono contenti di non esser stati ridotti al silenzio; il mestier loro non è di cercare la verità, bensì di far credere di possederla.

Per il vero scienziato, non si tratta di profittare dell'ingenuità

d'un giudice; bisogna che egli abbia lo spirito abbastanza libero per esser giudice di se stesso e per valutare al giusto una costruzione artificiosa, le cui parti avevano potuto sedurlo finché rimanevano separate.

Non è, con questo, ch'io pensi d'interdire la scienza agli uomini di fede, ed ai cattolici in specie. Dio me ne guardi! Non sarei tanto sciocco da privare l'umanità dei buoni uffici d'un Pasteur. Ci sono uomini che dimenticano la loro fede entrando nel gabinetto sperimentale; vestito che hanno il loro abito da lavoro, essi sanno guardare in faccia la verità, ed hanno altrettanto spirito critico di chiunque altro. E ciò è tutto quanto si può loro domandare.

Ne conosco molti, e Pasteur non è che il più illustre. Ma, ricordatevi, Pasteur è stato allievo della Scuola Normale, ov'era indirizzato da pensatori eminenti, che gl'insegnarono qual rispetto sia dovuto alla verità; egli era in contatto continuo con dei compagni che avevano idee differenti dalle sue, e le loro ardite discussioni facevano la sua anima forte e libera. Supponete, per contro, ch'egli fosse stato educato in ambiente d'altro spirito, in cui i maestri avessero considerato come un danno le sue qualità eminenti, dove avesse veduto attorno a sé soltanto condiscepoli sottomessi all'autorità e plasmati in uno stesso stampo, in cui fino dall'infanzia gli fosse sato insegnato a diffidare della ragione come d'una nemica, a temere le curiosità che avessero potuto esporlo al peccato del dubbio; ebbene: la sua fede sarebbe stata vivissima, ma egli non sarebbe stato Pasteur.

Né i dogmi delle religioni rivelate sono i soli da temere. L'impronta che il cattolicismo ha stampato sull'anima occidentale è stata così profonda che molti spiriti appena liberati hanno avuto la nostalgia della servirtù e si sono sforzati di ricostituire delle Chiese: è così che certe scuole positiviste non sono che un cattolicismo senza Dio. Augusto Comte stesso sognava di poter disciplinare le anime, e taluni suoi discepoli, esagerando il pen-

siero del maestro, diverrebbero prestissimo nemici della scienza ove avessero il sopravvento. Qualunque disciplina esterna è soltanto un impaccio per il pensiero, e non varrebbe la pena d'aver infranto l'antica intransigenza per accettarne una nuova.

Un tal pericolo è lontano, e non voglio insistere. Ma, senza aderire ad alcuna chiesa, siamo noi ben certi d'aver sempre conservato l'imparzialità che conviene allo scienziato, di non aver mai esclamato, di fronte ad una scoperta particolarmente imbarazzante per i credenti: — Ah! vorrei vedere che faccia faranno i clericali! — Non questa certo è la serenità con cui dev'essere accolta una conquista scientifica; disinteressata dev'esser l'ammirazione che essa ispira, e deve indirizzarsi alla pura bellezza, senza la menoma cura del vantaggio che tale o tal'altro partito possa ricavarne.

Guardate, per esempio, la storia delle religioni. È questa una scienza che come scienza appunto dev'esser trattata da uomini decisi a veder tutto e ad andare fino in fondo. Non la si affiderebbe ad un credente, il quale non potrebbe volentieri vedere scalfito ciò che gli è più caro di se stesso; ai più abili chirurgi non piace operare i propri congiunti. Ma nemmeno sarebbe opportuno scegliere un uomo che avesse antipatia per le cose religiose e che, quindi, sarebbe incapace di comprendere i fenomeni da studiarsi. Sarebbe come affidare un corso d'ottica ad un cieco, o un corso d'acustica ad un sordo.

Non saremo liberi e capaci di libero esame che quando non saremo più vittima d'alcuna passione; e non parlo delle sole passioni politiche. Forse avviene talvolta che uno sperimentatore provi un senso di pena quando fa un'osservazione che può esser d'appoggio alla teoria sostenuta da un collega per il quale non ha simpatia troppo spiccata. E ciò avverrà indubbiamente finché gli uomini saranno uomini.

La liberazione, dunque, non sarà che parziale; ed è già qualcosa che se ne arrossisca, che non si consideri la parzialità come un'obbligazione morale, come si fa quando s'è dominati da uno scrupolo apologetico.

Non vi sono, del resto, soltanto, i cattolici a credersi obbligati

da stretto dovere di combattere certe proposizioni e di non dare ascolto alle ragioni di coloro che le sostengono; vi sono anche coloro che invocano l'interesse sociale. Esistono dottrine dannose per la società? E allora la società che vuol vivere e che ha diritto di difendersi, può sbarazzarsene come si sbarazza dei criminali? No, perché non esiste menzogna salutare; la menzogna non è un rimedio, serve solo ad allontanare momentaneamente il pericolo, aggravandolo; è impotente però a scongiurarlo. E a coloro che non sanno guardarla in faccia che la verità ispira tentazioni pericolose; quelli che più si son familiarizzati con lei non ne vedono che il sereno splendore, come lo scultore, dinanzi al nudo modello, dimentica i suoi desideri per non pensare ad altro che alla beltà eterna.

Le teorie sono ausiliari indispensabili della scienza, ma sono ausiliari tirannici contro cui bisogna sapersi difendere; colui che subisse il loro impero senza reagire non sarebbe più capace d'un esame veramente libero; doterebbe se stesso di occhiali e poi non saprebbe fare a meno di essi. E allora che fare?

Gli uni cercherano di negligerli, ne diffideranno, e diffideranno di coloro che ne usano; non avran fede che nella nuda esperienza e crederanno che essi soltanto son fedeli al vero metodo sperimentale. Ma potranno andar molto lontano per questa via? Se sono conseguenti a se stessi, dovranno intendirsi qualsiasi raccostamento fra i fatti, perchè un raccostamento è già una teoria. D'altra parte i fatti isolati son privi d'interesse, perché è proprio la loro comparazione che ci rivela la loro armonia, sorgente della loro bellezza, e perché soltanto l'analogia permette la previsione, senza la quale non esiste possibile pratica applicazione. Qualunque classificazone è una teoria camuffata, eppure solo classificando i fatti sarà possibile muoversi nel dedalo senza smarrirsi. Coloro che disconoscono questa verità non si muovono che a tastoni, tornando incessantemente sui propri passi, cento volte rifacendo la stessa strada; non saranno, come conviene, economi del loro pensiero, mentre, ricordando che il compito è lungo e la vita corta (e non

solo quella dell'uomo, ma dell'umanità stessa), non dovrebbero esporsi a sprecare un tempo prezioso.

Altri cadono nell'eccesso opposto. Tanta è la fiducia che hanno nelle teorie che rifiutano di vedere i fatti che possono contradirle, o, almeno, dimostrare ch'esse sono solamente approssimate. Quando si fa un'esperienza capita, in generale, che non possano accettarsi i resultati bruti, esistendo varie cause di errore ed essendo perciò necessario portarvi alcune correzioni. Invce, se i resultati bruti concordano con la teoria, gli scienziati di cui parlo non si daranno pena di cercare gli errori possibili; al contrario, se c'è disaccordo, si romperanno il capo per poterne scoprire; e non cercheranno quelli che agiscono nel senso giusto, mentre saranno ciechi per quelli che potrebbero influire in senso contrario; e a forza di arrovellarsi, la faccenda finirà per andare. Occorre dire che tutto ciò non è libero esame e che non può essere che un'indagine imperfetta? Bisogna essere severi per le esperienze che riescono come per quelle che non riescono.

Fortunatamente vi sono scienziati che delle teorie fanno un uso più giudizioso; se ne servono ma ne diffidano e per essi non sono altro che delle guide che loro indicano quel che è interessante cercare, ed esse non fanno loro presentire quale sarà il resultato della ricerca.

Fra tutti i fatti che ci circondano, nessuno è indifferente e dovrebbero tutti interessarci e richiamarci se il tempo non ci venisse misurato: disgraziatamente siamo pressati, e non dobbiamo quindi soffermarci se non sui più importanti. La difficoltà è discernerli, ed è proprio in ciò che le teorie ci possono aiutare. I fatti importanti sono i fatti cruciali, come dicono gl'Inglesi, vale a dire quelli che possono confermare o infirmare una teoria. Dopo tutto, se i fatti non sono conformi alle previsioni, i veri scienziati non ne proveranno alcun sentimento di fastidio, di cui occorra affrettarsi a sbarazzarsi mediante un magico *coup de pouce*; al contrario, la loro curiosità n'è sovreccitata: sanno che i loro sforzi, i loro momentanei disinganni, saranno compensati al centuplo, perché lì è la verità, vicina se pure ancor nascosta ed abbi-

gliata per così dire dall'attrattiva del mistero, ma sul punto di disvelarsi.

Arrivo ora ad una questione delicata, quella del soprannaturale e del miracolo; e non intendo riferirmi soltanto ai fatti meravigliosi di cui argomentano gli aderenti alle varie religioni, ma anche di tutto quello che vien chiamato telepatia e spiritismo.

Non molto tempo fa tutto ciò sarebbe stato scartato a priori quale argomento di discussione; sono soltanto superstizioni d'altri tempi, si sarebbe detto, di cui le luci del progresso hanno definitivamente fatto giustizia. Ma capita oggi che il trionfo del positivismo non ci permetta più, senza rimorsi, un simile comodo atteggiamento. Lo scienziato non si crede più il rappresentante di non so quale eterna ragione, cui saprebbe anticipatamente che i fatti debbono sottomettersi. L'esperienza sola è regina, e colpro che riconoscono la sua maestà nulla devono negare senza un esame.

Così vediamo scienziati autentici, qualche volta eminenti, che si lasciano attrarre da queste misteriose questioni. — Perché — dicono alcuni — lasciare fuori della scienza una intera classe di fatti? Bisogna applicar loro i metodi scientifici; come gli altri, anch'essi obbediscono a leggi, solo che queste leggi sono ignote, e quindi si tratta di scoprirle. — E veramente non han torto, dato che hanno scoperto i fenomeni d'ipnosi.

Altri vanno più oltre. — Per qual diritto — dicono — voi proclamate *a priori* il determinismo universale e l'impossbilità del miracolo? Questo non è libero esame, anzi è tutto il contrario. Non solo voi non avete il diritto di dichiarare in anticipo che questi fenomeni non esistono, ma non avete neppùr quello di negare il loro carattere soprannaturale. Prima osservate, e poi vi pronuncierete. —

Senza dubbio si potrebbe rispondere che noi siamo obbligati di fare una cernita nella moltitudine d'oggetti che sollecitano la nostra attenzione; che, per conseguenza, siamo costretti a negligerne alcuni e ciò non è mancare alle regole dato che è una necessità; e che quindi è legittimo lasciar da parte gli

esperimenti di cui la passata esperienza ci fa prevedere l'insuccesso. Un'esperienza d'oggi ha forse più peso di mille esperienze d'ieri?

E non basta. Per affrontare queste questioni con qualche probabilità d'evitare errori, non basta essere un abile fisico, bisogna anzitutto essere uno sperimentato psicologo; vi sono perfezionatissimi strumenti di fisica, i quali però funzionano bene solo allorquando lo sperimentatore non ha partiti presi.

Si sa — dicono i credenti — che i *medium* inclinano alla sopercheria; tutti i *medium* barano: ci basta che non barino sempre. — Coloro che ragionano così non devono esser difficili ad essere ingannati. Gli stessi medici che hanno creato una scienza dell'ipnotismo e che avevano un senso critico molto più sviluppato, non sempre hanno diffidato abbastanza delle astuzie dei loro soggetti.

L'entusiasmo non è da temersi meno della frode. Quando ci vien raccontato un fatto di questo genere, e soprattutto quando ce lo raccontano con accento di fede, dobbiamo ricordare qual'è, in talune anime, il desiderio del meraviglioso, con quale ardore esse credono l'incredibile mentre dubiterebbero d'una semi-verosimiglianza, e non dobbiamo credere se non quello che noi stessi abbiamo veduto.

Ci diranno allora: — Va bene, dunque andate a vedere. — Ma se alcuno fra noi volesse davvero andare a vedere, gli verrebbero imposte condizioni assurde. Eusapia Palladino ammetteva l'intervento d'un fotografo, riserbandosi però di dare ella stessa il segnale per il lampo di magnesio gridando: — Fuoco! — Cose simili non rappresentano il libero esame, poiché vi sono maniere di esame che non ci vien lasciata libertà d'impiegare, e coloro che non voglion prestarsi a tali commedie hanno piena ragione.

Cosa dobbiamo ora rispondere a quelli che ci rimproverano di negare *a priori* il miracolo e d'essere, quindi, infedeli al metodo sperimentale? Possiamo dire che la fisica moderna ne ha dimostrata l'impossibilità; ma, no, questa sarebbe solo una peti-

zione di principio. La scienza non ci può far conoscere che le leggi dei fenomeni; essa non c'insegna che queste leggi non comportano alcuna eccezione: essa lo postula, e non è la stessa cosa. Noi avremo un bel dimostrare che queste eccezioni sono rare, che nel tal caso particolare quelle che s'era creduto d'osservare non erano che apparenti; non avremo però la dimostrazione rigorosa, che ridurrebbe gli avversari al silenzio.

Al più si potrà dire che le nostre abitudini sperimentali ci hanno creato uno stato d'animo che ci rende impossibile credere al miracolo, stato d'animo che non può esser comunicato.

No; ciò che perora contro il soprannaturale non è la fisica, ma la psicologia e la storia. La prima c'insegna, l'ho già detto, quante illusioni genera l'entusiasmo; bisogna sempre tornare a ciò che dice Renan: « è proprio dei testimoni che si lasciano scannare che bisogna diffidare ». Quanto alla storia, essa ci mostra che i falsi Iddii hanno fatto altrettanti miracoli di quello vero.

Se si vuole stabilire che i cosiddetti fatti soprannaturali sono non soltanto autentici, ma inspiegabili senza l'azione d'un'entità sovrumana, bisogna anche che questa entità esista; e allora abbiamo diritto di domandare ai credenti di giudicare il racconto di questi fatti com'essi farebbero se il prodigio fosse attribuito a Giove.

Restano i miracoli moderni; anche per essi, senza dubbio, Esculapio avrebbe fatto altrettanto bene; comunque, sarebbe desiderabile che i medici senza partito preso studiassero da vicino questi fenomeni. So bene a che si espongono e capisco che essi esitino; così, è bene che un recente processo, a Metz, abbia gettato un po' di luce su questioni del genere.

Ho detto ciò che la libertà è per la scienza; vorrei ora terminare l'argomento dicendo ciò che la scienza può fare per la libertà; i capi di alcune Università l'hanno ben compreso. — Quel che fa la forza della nostra Scuola — diceva un d'essi — ciò che ha salvaguardato la sua esistenza, è che, benché emanazione d'una corrente politica, non ne è mai stata lo strumento.

L'Università di Bruxelles non è affatto destinata a difender tale o tal'altra dottrina liberale; la sua missione è di propagare i grandi essenziali principi, e specialmente quello del libero esame —.

Né si potrebbe dir meglio. No, quello che si deve chiedere alla scienza, non è di scoprire verità che sieno il più possibile spiacevoli per gli avversari politici, bensì di plasmare degli spiriti liberi; quando ce ne avrà dati molti, avrà pagato il suo debito verso la libertà.

Guardate Pasteur. Profonda era la sua fede e certo non credeva di lavorare contro il cattolicismo; eppure egli ha formato degli allievi che sono impregnati dei suoi metodi, della sua critica vigorosa, delle sue abitudini di coscienzioso sperimentatore; sono dunque degli spiriti liberi ch'egli ha donato all'umanità, e tutti coloro che amano la libertà gliene debbono essere riconoscenti. Fra tali discepoli, ce n'è forse di quelli che condividono le sue idee religiose: ma essi lavoreranno liberamente come il loro maestro; a lor volta, saranno generatori di spiriti liberi e in tal modo lavoreranno anche per noi. Comunque sia, questi credenti sono dei nostri e se non ce ne fosse che di tali, ben si potrebbe vivere con loro.

## COMPITO DELLE IPOTESI (1)

Ogni generalizzazione è una ipotesi. L'ipotesi ha dunque un compito necessario che nessuno ha mai contestato. Soltanto essa deve essere sottoposta alla verificazione sempre, e il più presto possibile. È inutile dire che se essa non sopporta questa prova, deve essere abbandonata senza nessuna riserva mentale. È d'altronde quello che si fa generalmente, ma qualche volta con un certo malumore.

Ebbene neanche questo malumore è giustificato. Il fisico che rinuncia a una delle sue ipotesi dovrebbe essere anzi, pieno di gioia, poiché proprio allora ha trovato una occasione insperata di nuove scoperte. La sua ipotesi, immagino, non era stata adottata leggermente; essa teneva conto di tutti i fattori conosciuti che pareva potessero intervenire nel fenomeno. Se la verificazione non avviene, vuol dire che c'è qualchecosa di inatteso, di straordinario; vuol dire che stiamo per trovare dello sconosciuto e del nuovo.

L'ipotesi che è così caduta è stata forse sterile?

Nemmen per sogno! Si può anzi dire che essa ha reso più servizi di una ipotesi vera. Non soltanto essa è stata l'occasione della esperienza decisiva, ma se si fosse fatta quella esperienza per mero caso non ne avremmo tratto nulla; non vi avremmo vi-

---

(1) Da *La Science et l'Hypothèse*, ediz. cit., pp. 178 a 181.

sto nulla di straordinario; avremmo soltanto catalogato un fatto nuovo di più senza dedurne la minima conseguenza.

E ora a quali condizioni l'uso della ipotesi è senza pericoli?

Il fermo proposito di sottomettersi alla esperienza non basta; vi sono anche ipotesi pericolose e sono anzitutto e sopratutto quelle che sono tacite e incoscienti. Poiché le facciamo senza saperlo, siamo impotenti ad abbandonarle. Ed ecco un servizio che può renderci la fisica matematica. Con la precisione che le è propria essa ci obbliga a formulare tutte le ipotesi che faremmo senza di essa, ma senza che ce ne accorgiamo.

Notiamo, d'altra parte, che è bene non moltiplicare le ipotesi oltre misura ed è bene farle una dopo l'altra. Se costruiamo una teoria fondata su ipotesi multiple e se la esperienza la condanna, qual'è fra le nostre premesse quella che sarà necessario cambiare? Sarà impossibile saperlo. E inversamente, se l'esperienza riesce, crederemo noi d'aver verificato tutte le ipotesi? Crederemo con una sola equazione d'aver determinato più incognite?

Bisogna anche aver cura di distinguere fra le differenti specie di ipotesi. Ci sono anzitutto quelle che sono essenzialmente naturali e alle quali non ci si può sottrarre. È difficile non supporre che l'influenza dei corpi molto lontani sia trascurabile, che i piccoli movimenti obbediscono a una legge lineare, che l'effetto è una funzione continua della sua causa; lo stesso avviene per le condizioni imposte dalla simmetria.

Tutte queste ipotesi formano per così dire il fondo comune di tutte le teorie della fisica matematica. Sono le ipotesi che debbono essere abbandonate per ultime.

C'è una seconda categoria di ipotesi che qualificherò di indifferenti. Nella maggior parte delle questioni, l'analista suppone, al principio del suo calcolo, sia che la materia è continua, sia, inversamente, che è composta di atomi. Se avesse fatto il contrario i suoi resultati non sarebbero stati diversi; avrebbe durato più fatica a ottenerli, ecco tutto. Se allora l'esperienza conferma le due conclusioni, penserà egli d'aver dimostrato, per esempio, l'esistenza degli atomi?

Nelle teorie ottiche introduciamo due vettori che consideriamo l'uno come una velocità, l'altro come un turbine. Anche questa è una ipotesi indifferente perché si sarebbe giunti alle stesse conclusioni facendo esattamente il contrario; il successo dell'esperienza non può dunque provare che il primo vettore è veramente una velocità; non prova che una cosa sola: che è un vettore; è questa dunque la sola ipotesi che abbiamo introdotto nelle premesse. Per dargli quella apparenza concreta che la debolezza del nostro spirito esige, è stato necessario considerarlo sia come una velocità sia come un turbine; allo stesso modo che è stato necessario rappresentarlo con una lettera, sia con $x$ sia con $y$ ma il resultato qualunque esso sia, non proverà che si abbia avuto torto o ragione a considerarlo come una velocità; come non proverà che abbiamo avuto torto o ragione a chiamarlo $x$ e non $y$.

Queste ipotesi indifferenti non sono mai pericolose purché non se ne disconosca il carattere. Possono essere utili, sia come artificio di calcolo, sia per sostenere il nostro intendimento con delle immagini concrete, per fissare le idee, come si dice. Non è dunque il caso di proscriverle.

Le ipotesi della terza categoria sono le vere generalizzazioni. Son quelle che l'esperienza deve confermare o infirmare. Verificate o condannate, esse potranno essere feconde. Ma per le ragioni che ho esposte, esse saranno feconde solo se non le moltiplicheremo troppo.

## ORIGINE DELLA FISICA MATEMATICA (1)

Penetriamo più addentro alla questione e studiamo più da vicino le condizioni che hanno permesso lo sviluppo della fisica matematica.

Di primo acchito riconosciamo che gli sforzi degli scienziati hanno sempre teso a risolvere il fenomeno complesso dato direttamente dall'esperienza in un gran numero di fenomeni elementari.

E ciò in tre modi diversi: anzitutto nel tempo. In luogo di abbracciare nel suo insieme lo sviluppo progressivo di un fenomeno, si cerca semplicemente di riallacciare ogni istante all'istante immediatamente anteriore; si ammette che lo stato attuale del mondo non dipende che dal passato più prossimo, senza essere direttamente influenzato per così dire dal ricordo di un passato lontano. Grazie a questo postulato, in luogo di studiare direttamente tutta la successione dei fenomeni, ci si può limitare a scriverne *l'equazione differenziale*; alle leggi di Keplero si sostituisce quella di Newton.

Dopo si cerca di scomporre il fenomeno nello spazio. Ciò che l'esperienza ci dà è un insieme confuso di fatti che si producono su di un teatro d'una certa estensione; bisogna tentare di discernere il fenomeno elementare che sarà, invece, localizzato in una piccolissima regione dello spazio.

---

(1) Da *La Science et l'Hypothèse*, ediz. cit., pp. 181 a 188.

Qualche esempio farà meglio comprendere il mio pensiero. Se si volesse studiare in tutta la sua complessità la distribuzione della temperatura in un solido che si raffredda non potremmo giungervi mai. Tutto diventa semplice se si riflette che un punto del solido non può direttamente cedere calore a un punto lontano; non ne cederà immediatamente che ai punti più vicini, ed è dal prossimo al prossimo che il flusso del calore potrà raggiungere altre porzioni del solido. Il fenomeno elementare è lo scambio di calore fra due punti contigui; è strettamente localizzato ed è relativamente semplice, se si ammette, come è naturale, che non è influenzato dalla temperatura delle molecole la cui distanza è sensibile.

Io piego una verga; essa prenderà una forma molto complicata il cui studio diretto sarebbe impossibile; ma io potrò ciononstante affrontarlo se osservo che la flessione non è che la risultante della deformazione di elementi piccolissimi della verga, e che la deformazione di ciascuno di quegli elementi non dipende che dalle forze che gli sono direttamente applicate e non da quelle che possono agire sugli altri elementi.

In tutti questi esempi che potrei facilmente moltiplicare, si ammette che non c'è azione a distanza, o per lo meno a grande distanza. Questa è una ipotesi e non è sempre vera; la legge di gravitazione ce lo prova. Bisogna dunque sottometterla a verificazione. Se è confermata, anche approssimativamente, essa è preziosa perché ci permetterà di fare della fisica matematica almeno per approssimazioni successive. Se non resiste alla prova bisogna cercare qualchecos'altro di analogo, giacché ci sono ancora altri mezzi per arrivare al fenomeno elementare. Se vari corpi agiscono simultaneamente può accadere che le loro azioni siano indipendenti e si aggiungano semplicemente le une alle altre, sia al modo di vettori, sia al modo di quantità scalari. Il fenomeno elementare è allora l'azione di un corpo isolato. Oppure abbiamo a che fare con dei piccoli movimenti, o più generalmente con delle piccole variazioni che obbediscono alla legge ben conosciuta della sovrapposizione. Il mo-

vimento osservato sarà allora scomposto in movimenti semplici; per esempio: il suono nelle sue armoniche, la luce bianca nelle sue componenti monocromatiche.

Quando si è veduto da qual parte conviene discernere il fenomeno elementare, quali sono i mezzi coi quali si può raggiungerlo?

Anzitutto succederà spesso che per indovinarlo, o meglio per indovinare ciò che del fenomeno può esserci utile, non sarà affatto necessario di penetrarne il meccanismo; la legge dei grandi numeri sarà sufficiente. Riprendiamo l'esempio della propagazione del calore; ogni molecola irradia verso la molecola vicina; ma non abbiamo bisogno di sapere secondo quale legge questo avverrà; se noi supponessimo qualchecosa a questo proposito, noi formuleremo una ipotesi indifferente e perciò inutile e inverificabile. E, in effetto, per l'azione delle medie e grazie alla simmetria del mezzo, tutte le differenze si livellano e qualunque sia la ipotesi fatta, il resultato è sempre lo stesso.

La stessa circostanza si presenta nella teoria della elasticità e in quella della capillarità; le molecole vicine si attirano e si respingono; e non abbiamo bisogno di sapere secondo quale legge; ci basta che questa azione non sia sensibile che alle piccole distanze e che le molecole siano numerosissime e che il mezzo sia simmetrico; non avremo più che lasciare agire la legge dei grandi numeri.

Anche qui la semplicità del fenomeno elementare si nascondeva sotto la complessità del fenomeno resultante osservabile; ma a sua volta quella semplicità non era che apparente e dissimulava un meccanismo assai complesso.

Il miglior mezzo per arrivare al fenomeno elementare sarebbe evidentemente l'esperienza. Bisognerebbe attraverso artifici sperimentali, dissociare il fascio complesso che la natura offre alle nostre ricerche e studiarne con cura gli elementi purificati il più possibile. Per esempio scomporremo la luce bianca naturale in luci monocromatiche con l'aiuto del prisma, e in luci polarizzate con l'aiuto del polarizzatore.

Disgraziatamente ciò non è né sempre possibile né sempre sufficiente e bisogna qualchevolta che lo spirito precorra l'esperienza. Citerò un solo esempio che mi ha sempre vivamente colpito.

Se decompongo la luce bianca io potrò isolare una piccola porzione dello spettro, ma per piccola che sia essa conserverà una certa larghezza. Allo stesso modo le luci naturali dette *monocromatiche* ci danno una striscia sottilissima sì, ma non infinitamente sottile. Si potrebbe supporre che studiando sperimentalmente le proprietà di quelle luci naturali, operando con delle strisce spettrali sempre più sottili e passando finalmente, per così dire, al limite, arriveremo a conoscere le proprietà di una luce rigorosamente monocromatica.

Ciò non sarebbe esatto. Suppongo che due raggi emanino da una stessa sorgente, che prima si polarizzino in due piani rettangolari, che dopo si riconducano allo stesso piano di polarizzazione, e che si cerchi di farli interferire. Se la luce fosse *rigorosamente* monocromatica, essi interferirebbero; ma con le nostre luci approssimativamente monocromatiche, non vi sarà interferenza, e ciò per quanto la striscia sia strettissima; bisognerebbe perché avvenisse altrimenti che la striscia fosse vari milioni di volte più stretta delle più fini strisce conosciute.

Qui dunque, il passaggio al limite ci avrebbe ingannati. È stato necessario che lo spirito precorresse l'esperienza e se lo ha fatto con successo ciò è avvenuto perché s'è lasciato guidare dall'istinto della semplicità.

La conoscenza del fatto elementare ci permette di mettere il problema in equazione; non resta altro che dedurne per combinazione il fatto complesso osservabile e verificabile. È ciò che si chiama *integrazione;* e questo riguarda il matematico.

Ci possiamo domandare perché nelle scienze fisiche la generalizzazione prende volentieri la forma matematica. La ragione si vede ora facilmente: non è soltanto perché dobbiamo esprimere delle leggi numeriche; ma perché il fenomeno osservabile è dovuto alla sovrapposizione di un gran numero di fenomeni ele-

mentari *tutti simili fra loro;* per questo molto naturalmente vengono introdotte le equazioni differenziali.

Non basta che ogni fenomeno elementare obbedisca a leggi semplici, bisogna che tutti quelli che dovremo combinare fra loro obbediscano alla stessa legge. Soltanto allora può essere utile l'intervento delle matematiche. Le matematiche ci insegnano, infatti, a combinare il simile col simile. Il loro scopo è di indovinare i resultati di una combinazione senza aver bisogno di rifare quella combinazione pezzo per pezzo.

Se si deve ripetere più volte una stessa operazione, esse ci permettono di evitare quella ripetizione facendoci conoscere anticipatamente il resultato per una specie di induzione. L'ho spiegato nel capitolo sul ragionamento matematico.

Ma, per questo, bisogna che tutte quelle operazioni sieno simili fra di loro; nel caso contrario bisognerebbe evidentemente rassegnarsi a farle effettivamente una dopo l'altra, e le matematiche sarebbero inutili.

È dunque in grazia della omogeneità approssimativa della materia studiata dai fisici che la fisica matematica è potuta nascere.

Nelle scienze naturali non si ritrovano più queste condizioni: omogeneità, indipendenza relativa di parti lontane, semplicità del fatto elementare; ed è per questo che i naturalisti sono costretti a ricorrere ad altri modi di generalizzazione.

# L'IPOTESI DEI QUANTI [1]

Ci si può domandare se la meccanica non è alla vigilia di un nuovo sconvolgimento; recentemente si è tenuto a Bruxelles un congresso dove erano riuniti una ventina di fisici di varia nazionalità, e a ogni momento si sentivan parlare della nuova meccanica che opponevano alla antica meccanica; e che cos'era questa antica meccanica? Era quella di Newton, quella che regnava ancora incontestata alla fine del XIX secolo? No, era la meccanica di Lorenz, quella del principio di relatività, quella che appena cinque anni fa pareva il colmo dell'arditezza. Questo vuol dire forse che quella meccanica di Lorenz non ha avuto che una fortuna effimera, che non è stata altro che un capriccio della moda, e che stiamo per tornare agli antichi dei che avevamo imprudentemente abbandonati? Nemmen per sogno: le conquiste di ieri non sono compromesse; in ogni punto nel quale essa si scosta da quella di Newton la meccanica di Lorenz sussiste. Si continua a credere che nessun corpo mobile potrà mai sorpassare la velocità della luce, che la massa di un corpo non è una costante ma che dipende dalla sua velocità e dall'angolo che fa questa velocità con la forza che agisce sul corpo; che nessuna esperienza potrà mai decidere se un corpo è in riposo o è in movimento assoluto sia in rapporto allo spazio assoluto, sia anche in rapporto all'etere.

---

[1] Da *Dernières Pensées*, ediz. cit., pp. 165 a 192.

Soltanto a queste arditezze se ne vogliono aggiungere altre e molto più sconcertanti. Non ci si domanda più soltanto se le equazioni differenziali della dinamica debbono essere modificate, ma se le leggi del movimento potranno ancora essere espresse con delle equazioni differenziali. E questa sarebbe la più profonda rivoluzione che la Filosofia Naturale subirebbe dopo Newton. Il chiaro genio di Newton aveva ben veduto (o aveva creduto di vedere, cominciamo ora a domandarcelo) che lo stato di un sistema mobile, o più generalmente quello dell'universo, non poteva dipendere che dal suo stato immediatamente anteriore, che tutte le variazioni nella natura debbono effettuarsi in modo continuo. Certo non era lui che aveva inventato questa idea; questa idea era nel pensiero degli antichi, e degli scolastici, che proclamavano l'adagio: *Natura non facit saltus;* ma era un'idea soffocata da una quantità di erbacce che le impedivano di svilupparе e che i grandi filosofi del XVII secolo son giunti a liberare.

Ebbene, è proprio questa idea fondamentale che oggi è in discussione. Oggi ci chiediamo se non si debba introdurre nelle leggi naturali delle discontinuità non apparenti ma essenziali; e anzitutto dobbiamo spiegare come si può essere stati condotti a un modo di vedere così straordinario.

## 1. Termodinamica e probabilità.

Riportiamoci alla teoria cinetica dei gas; i gas sono formati di molecole che circolano in tutti i sensi a grandi velocità; le loro traiettorie sarebbero rettilinee se di quando in quando esse non si urtassero fra di loro, o se non urtassero contro le parti del vaso. Tutti questi urti casuali finiscono con lo stabilire una certa distribuzione media delle velocità sia che si consideri la loro direzione, sia che si tenga conto della loro grandezza; questa distribuzione media tende a ristabilirsi da se stessa non appena essa è turbata; in modo che malgrado la complicazione inestricabile dei movimenti, l'osservatore che non può vedere che delle

medie, non scorge che delle leggi molto semplici che sono l'effetto del gioco delle probabilità e dei grandi numeri. Egli vede l'*equilibrio statistico*. È così, per esempio, che le velocità saranno egualmente ripartite in tutte le direzioni, giacché se esse cessassero un solo istante di esserlo, se cioè tendessero a prendere una direzione comune, gli urti dopo poco tempo gliela farebbero perdere.

Il calcolo conduce ad un'altra conseguenza; la forza viva che prenderà *in media* ogni molecola è proporzionale al numero dei suoi gradi di libertà. Mi spiego: un corpo può prendere un certo numero di movimenti piccolissimi, differenti. Per esempio un punto materiale può muoversi seguendo i tre assi: esso ha tre gradi di libertà; una sfera può subire una traslazione parallela a ciascuna dei tre assi, e anche una rotazione intorno a questi tre assi; essa ha sei gradi di libertà. Ora, una molecola non è un semplice punto materiale, essa è suscettibilie di deformazione e avrà dunque diversi gradi di libertà. Per esempio una molecola di argon ne avrà tre, una molecola di ossigeno ne avrà 5. Allora secondo la legge che noi enunciammo e che si chiama *legge d'equipartizione*, se nell'equilibrio statico una molecola di argon a una certa temperatura possiede la forza viva 3, una molecola di ossigeno dovrà possedere la forza viva 5. In altri termini i calori specifici molecolari a volume costante dell'argon e dell'ossigeno dovranno stare tra loro come 3 a 5.

E questa legge convenientemente interpretata non è solamente vera per i gas; essa resulta infatti della stessa forma che si è sempre attribuito alle equazioni della dinamica e che è la forma di Hamilton. Se le leggi generali della dinamica sono applicabili ai liquidi e ai solidi, questi corpi debbono obbedire alle leggi di equipartizione, *mutatis mutandis*.

Il principio di Carnot, o secondo principio della termodinamica, ci insegna che il mondo tende verso uno stato finale dal quale non potrà più allontanarsi; ci insegna dunque che l'equilibrio statistico è possibile; se non lo fosse si potrebbe sempre trovare qualche artificio che permettesse di realizzare ciò che si è chiamato il movimento perpetuo di seconda specie, che permettesse per es. di riscaldare

una macchina a vapore col ghiaccio, profittando del fatto che quel ghiaccio, per freddo che sia, non è pertanto allo zero assoluto, e per conseguenza contiene una certa quantità di calore. Se le leggi dell'equilibrio statistico non fossero le stesse quando si mettono in presenza i corpi A e B, oppure i corpi B e C oppure infine, i corpi C e A, sarebbe facile, avvicinando ora due di quei corpi ora altri due, di cambiare incessantemente le condizioni di quell'equilibrio; quei corpi non conoscerebbero mai, in questo modo, il riposo definitivo e non ci sarebbe vero equilibrio statistico; il principio di Carnot sarebbe falso.

Per qualche singolare coincidenza le condizioni di quell'equilibrio son dunque sempre le stesse qualunque sieno i corpi posti in presenza l'uno dell'altro? Le considerazioni precedenti ce lo fanno capire: è perché le leggi generali della dinamica, espresse con le equazioni differenziali di Hamilton, si applicano a tutti i corpi.

Queste concezioni erano sempre state confermate sin qui dall'esperienza, e le verificazioni sono oggi abbastanza numerose perché si possa non attribuirle al caso. Bisognerà dunque, se nuove esperienze mettono in evidenza delle eccezioni, non già abbandonare la teorie ma modificarla, allargarla in modo da permetterle di abbracciare i fatti nuovi.

Non è che certe obiezioni non si sieno presentate a tutte le menti fino dai primi giorni. Le molecole, gli stessi atomi, non sono dei punti materiali; se hanno delle dimensioni è permesso assimilarli a corpi *assolutamente* rigidi. Per quanto semplice sia la molecola di argon, non potrà essere un punto matematico, sarà una sfera; perché questa sfera non potrà girare? E se essa gira avrà 6 gradi di libertà in luogo di 3. (Non servirebbe a nulla dire che il rapporto dei calori specifici non cambierebbe se si attribuissero 6 gradi di libertà all'argon e 10 all'ossigeno. Son proprio 3 gradi di libertà e non 6 che esige la teoria cinetica dei gas). Ammenoché non si supponga che gli urti capaci di modificare la traslazione della molecola sono assolutamente senza influenza sulla sua rotazione, che non possono far subire a quella molecola la minima deformazione, ecc. D'altronde ogni riga

dello spettro corrisponde a un grado di libertà. Inutile dire che lo spettro dell'ossigeno comprende più di 5 righe. Perché certi gradi di libertà sembrano non avere alcuna parte, perché sono per così dire anchilosati fintantoché non intervengono misteriose circostanze?

## 2. La legge dell'irradiamento.

Sul principio i fisici non si preoccuparono di queste difficoltà ma due fatti nuovi vennero a cambiare la faccia delle cose: il primo è ciò che si chiama la legge dell'*irradiamento oscuro*. Un corpo perfettamente nero è quello il cui coefficiente di assorbimento è eguale a 1. Un simile corpo portato alla incandescenza emette della luce di tutte le lunghezze d'onda, e la intensità di questa luce varia secondo una certa legge in funzione della temperatura e della lunghezza d'onda. L'osservazione diretta non è possibile perché non esiste un corpo perfettamente nero. Ma c'è un modo per girare la difficoltà. Si può chiudere il corpo in una cavità perfettamente chiusa; la luce che il corpo emette non può sfuggire dalla cavità e subisce una serie di riflessioni fino a che essa è interamente assorbita; quando lo stato di equilibrio è raggiunto, la temperatura della cavità è divenuta uniforme e la cavità è riempita da un irradiamento che segue la legge dell'irradiamento oscuro.

È chiaro che questo è un caso di equilibrio statistico, giacché gli scambi di energia si son susseguiti fintantoché ogni parte del sistema ha guadagnato in media, in un breve spazio di tempo, esattamente quel che ha perduto.

Ma qui comincia la difficoltà. Le molecole materiali contenute nella cavità sono in numero finito per quanto grandissimo, ed esse non hanno che un numero finito di gradi di libertà. L'etere invece ne ha una infinità giacché può vibrare in una infinità di maniere corrispondenti alle diverse lunghezze d'onda con le quali la cavità è in risonanza. Se si applicasse la legge di equi-

partizione l'etere dovrebbe prendere tutta l'energia e non lasciarne affatto alla materia.

Si potrebbe restringere la libertà dell'etere imponendogli dei legami che, per esempio, lo rendessero incapace di trasmettere le onde troppo corte; si sfuggirebbe così alla contradizione che abbiamo segnalata ma si giungerebbe sempre ad una legge che per non essere più assurda sarebbe ancora contradetta dall'esperienza. È questa la legge di Rayleigh secondo la quale l'energia irradiata per una data lunghezza sarebbe proporzionale alla temperatura assoluta e per una data temperatura, in ragione inversa della quarta potenza della lunghezza d'onda.

La legge vera dimostrata dall'esperienza è la legge di Plank: l'irradiamento è molto più piccolo per le piccole lunghezze d'onda o per le basse temperature di quel che non l'esiga la legge di Rayleigh, conforme alla legge di equipartizione.

Il secondo fatto resulta dalla misura dei calori specifici dei corpi solidi a bassissime temperature, nell'aria o nell'idrogeno liquido. Questi calori specifici, lungi dall'essere sensibilmente costanti, diminuiscono rapidamente come per annullarsi allo zero assoluto. Tutto si svolge come se quelle molecole perdessero dei gradi di libertà raffreddandosi, come se qualcuna delle loro articolazioni finisse per gelare.

### 3. I QUANTI DI ENERGIA.

La spiegazione di questi fenomeni deve essere cercata senza fare *tabula rasa* dei principi della termodinamica; bisogna innanzi tutto ammettere la possibilità dell'equilibrio statistico senza di che non resterebbe nulla del principio di Carnot; non si può ammettere nella termodinamica nessuna breccia senza che tutto crolli. Jeans ha cercato di conciliare tutto supponendo che ciò che noi osserviamo non è l'equilibrio statistico definitivo ma una sorta di equilibrio provvisorio. È difficile adottare questa sua maniera di vedere; la sua teoria non prevedendo nulla non è con-

tradetta dalla esperienza, ma lascia senza spiegazione tutte le leggi conosciute limitandosi a non contradirle, e che non appaiono più che come l'effetto di non so quale caso fortuito.

Plank ha cercato un'altra spiegazione della legge che aveva scoperto. Secondo lui si tratta di un vero equilibrio, e, se questo equilibrio non è conforme alla legge di equipartizione, ciò dipende dal fatto che le equazioni di Hamilton non sono esatte. Per arrivare alla legge sperimentale bisogna introdurre in queste equazioni una modificazione veramente sorprendente. Come ci dobbiamo rappresentare un corpo irradiante? Noi sappiamo che un risonatore di Herz manda sull'etere delle onde herziane che non son altro che onde luminose; un corpo incandescente sarà dunque considerato come un corpo contenente un grandissimo numero di piccoli risonatori. Quando il corpo si scalda questi risonatori acquistano energia, si mettono a vibrare e per conseguenza a irradiare.

L'ipotesi di Plank consiste nel supporre che ciascuno di quei risonatori non può acquistare o perdere energia che per *salti bruschi*, in modo tale che la provvista di energia che possiede deve essere sempre un multiplo di una stessa quantità costante chiamata *quanto*; questa provvista di energia deve essere composta di un numero intero di *quanti*. Questa unità indivisibile, questo *quanto*, non è lo stesso per tutti i risonatori ed è in ragione inversa della lunghezza d'onda, cosicché i risonatori a corto periodo non possono ingoiare energia che a grossi bocconi mentre i risuonatori a lungo periodo possono assorbirla o emetterla a piccole boccate. Che cosa resulta da tutto ciò? Resulta questo: che per scuotere un risonatore a periodo corto saranno necessari dei grandi sforzi, giacché sarà necessaria una quantità d'energia eguale almeno al suo *quanto*, che è grande; vi saranno perciò molte probabilità che quei risonatori restino in riposo, soprattutto se la temperatura è bassa, ed è appunto per questa ragione che nell'irradiamento nero vi sarà poca luce a corta lunghezza d'onda.

Questa ipotesi rende ben conto dei fatti, dato che si ammetta che la relazione fra l'energia del risonatore e il suo irradiamento

sia la stessa delle antiche teorie. Ed è questa una prima difficoltà. Perché conservare questo dopo aver tutto distrutto? Ma bisogna pur conservare qualchecosa senza di che non si saprebbe su che cosa costruire.

La diminuzione dei calori specifici si spiega allo stesso modo; quando la temperatura s'abbassa, un gran numero di vibratori cadono al disotto del loro *quanto*, e, invece di vibrare poco, non vibrano più affatto, dimodoché l'energia totale diminuisce più presto che nelle vecchie teorie. Questa non è che una veduta qualitativa; ma non bisogna troppo esagerare nel facilitare il modo di ottenere una sufficiente concordanza quantitativa.

## 4. Discussione dell'ipotesi precedente.

L'equilibrio statistico non si può stabilire se non vi sia scambio di energia fra i risonatori, senza di che ogni risonatore conserverebbe indefinitamente la sua energia iniziale che è arbitraria, e la distribuzione finale non obbedirebbe ad alcuna legge. Questo scambio non potrebbe effettuarsi per irradiamento se i risonatori fossero fissi e chiusi in una cavità rigida.

Infatti ogni singolo risonatore non potrebbe emettere o assorbire che della luce di una lunghezza d'onda determinata; non potrebbe dunque inviare energia che ai risonatori dello stesso periodo.

Non è lo stesso se si suppone che la cavità è deformabile o contiene dei corpi mobili.

E infatti la luce riflettendosi su di uno specchio mobile cambia di lunghezza d'onda per il celebre principio di Döppler-Fizeau. Ed è questo un primo modo di scambio per irradiamento.

Ce n'è un secondo: i risonatori possono reagire meccanicamente l'uno sull'altro, sia direttamente sia, piuttosto, per l'azione intermediaria di atomi mobili e di elettroni che circolano dall'uno all'altro e vengono a urtarli. È lo scambio per urti. E quello che ho studiato recentemente, ritrovando e confermando i risultati di Planck.

Come ho spiegato più sopra, è necessario che tutti i modi di scambio dell'energia conducano alle stesse condizioni di equilibrio statistico, senza di che il principio di Carnot non sussisterebbe. Questo è necessario per rendere conto dell'esperienza, ma bisogna anche che si possa dare di questa sorprendente concordanza una spiegazione soddisfacente; che non si sia costretti ad attribuirla ad una sorta di caso provvidenziale. Nell'antica meccanica, questa spiegazione era bell'è trovata, ed era la universalità delle equazioni di Hamilton; troveremo qui qualche cosa di analogo?

Non ho ancora terminato lo studio dello scambio per irradiamento, e non so ancora se si conoscono tutte le condizioni di equilibrio alle quali conduce questo modo di scambio; non mi meraviglierei se se ne scoprissero delle nuove che potrebbero cagionarci qualche imbarazzo.

Per il momento ve n'è una che ci è stata rivelata dai lavori di Wien secondo la quale il prodotto dell'energia dell'irraggiamento per la quinta potenza della lunghezza d'onda non dipende più che dalla temperatura moltiplicata per la lunghezza d'onda.

Si vede subito che affinché questa legge di Wien sia compatibile con l'equilibrio statico dovuto allo scambio per urti, bisogna che in questo scambio per urti, l'energia non possa variare che per *quanti inversamente proporzionali alla lunghezza d'onda*. È questa una proprietà *meccanica* degli oscillatori, che è evidentemente indipendente dal principio di Doppler-Fizeau e non si capisce bene in seguito a quale misteriosa armonia prestabilita quei risonatori sono stati dotati della sola proprietà meccanica che poteva convenire. Se l'equilibrio statistico è invariabile, non è più per una ragione unica e universale, ma è per il concorso di circostanze multiple e indipendenti.

Nella maniera di esporre del Plank questo dualismo di modi di scambio non appare, ma esso è solo dissimulato e io ho creduto necessario di attirare l'attenzione su questo punto.

Questa non è la sola difficoltà; un risonatore non può cedere energia a un altro che per multipli interi del suo *quanto*; questo

non può riceverne che per multipli interi del suo *quanto*; e siccome questi due *quanti* saranno generalmente incommensurabili, ciò basta per escludere la possibilità di uno scambio diretto, ma lo scambio non può effettuarsi che per l'azione intermediaria degli atomi, supponendo che l'energia di questi atomi possa variare in modo continuo.

E non è questo il più grave: i risonatori debbono *bruscamente* perdere o acquistare ogni *quanto* o piuttosto bisogna che acquistino il loro *quanto* tutto intero o che non acquistino nulla. Ma nonostante è necessario loro un certo tempo per acquistarlo o per perderlo; è quel che esige il fenomeno delle interferenze. Due *quanti* emessi da uno stesso oscillatore in momenti diversi non potrebbero interferire fra di loro. Le due emissioni dovrebbero infatti essere considerate come due fenomeni indipendenti e non vi sarebbe nessuna ragione perché l'intervallo di tempo che li separa fosse costante. Anzi, ciò è impossibile; quell'intervallo deve essere più grande se la luce è debole che se è intensa; a meno che non si supponga che l'intervallo è costante, che ogni emissione può consistere in diversi *quanti*, e che la intensità dipende dal numero dei *quanti* emessi tutti in una volta. Ma nemmeno questo può andare; l'intervallo deve essere piccolo in rapporto a un periodo per inquadrarsi con le osservazioni di interferenza; il valore del *quanto* resulta dalla stessa formula di Planck; avremo dunque un minimo di intensità possibile della luce, e si sono osservate delle emissioni di luce inferiori a quel minimo.

È dunque proprio ogni *quanto* che interferisce con se stesso; è dunque necessario che, una volta messo sotto forma di vibrazioni luminose dell'etere, si divida in più parti, che certe parti sieno in ritardo sulle altre di varie lunghezze d'onda e che per conseguenza esse non sieno state emesse nello stesso tempo.

Sembra che qui ci sia una contraddizione; ma forse non è insolubile. Immaginiamo un sistema formato da un certo numero di eccitatori di Hertz, tutti identici; ciascuno di essi è caricato da una sorgente di elettricità e quando la sua carica ha raggiunto un certo valore, la scintilla scocca, l'emissione comincia e nulla or-

mai può più arrestarla, fino a che l'eccitatore sia intieramente scaricato, bisogna dunque che perda il suo *quanto* intieramente o che non perda niente (il *quanto* è in questo caso la quantità di energia che corrisponde al potenziale esplosivo). Ma questo *quanto* non è perduto bruscamente, ogni emissione dura un certo tempo e le onde emesse sono suscettibili di interferenze regolari.

Planck ha supposto che la relazione fra l'energia d'un oscillatore e il suo irradiamento fosse la stessa che nella elettrodinamica di Maxwell. Si potrebbe rinunciare a questa ipotesi e supporre che gli urti meccanici avvengono secondo le antiche leggi. La ripartizione di energia fra i risonatori avverrebbe allora secondo la legge di equipartizione, ma i risonatori a corto periodo irradierebbero meno a parità d'energia. Si potrebbe allora render conto della legge di irradiamento ma non si spiegherebbero le anomalie dei calori specifici alle basse temperature, a meno che non si ammetta che lo scambio per urti non è più possibile per i solidi freddissimi, e che le loro molecole non scambiano più calore che per irradiamento a piccola distanza.

Si potrebbe andare più lontano e supporre che non vi sono mai urti, che tutte le forze dette meccaniche sono d'origine elettromagnetica, che sono dovute ad azioni a distanza, spiegabili anch'esse con l'irradiamento. Bisognerebbe allora lasciar sussistere solamente il modo di scambi per irradiamento e per il gioco del principio di Döppler-Fizeau; forse allora saremmo condotti a formulare ipotesi molto diverse da quella dei *quanti*.

## 5. I QUANTI D'AZIONE.

Da un certo lato la nuova ipotesi è seducente. Da un po' di tempo vi è tendenza verso l'atomismo. La materia ci appare come formata da atomi indivisibili, l'elettricità non è più continua, non è più divisibile all'infinito, e si risolve in elettroni aventi tutti la stessa carica, tutti simili fra loro. Abbiamo anche da un po' di tempo il magnetone o atomo del magnetismo. In quest'ordine di

idee i *quanti* ci appaiono come *atomi di energia*. Disgraziatamente il paragone non può essere spinto sino in fondo. Un atomo di idrogeno, per esempio, è veramente invariabile, conserva sempre la stessa massa, qualunque sia il composto nel quale entra come elemento; anche gli elettroni conservano la loro individualità attraverso le più diverse vicissitudini. Accade lo stesso per i cosidetti atomi di energia? Abbiasi, per esempio 3 *quanti* di energia su di un risonatore la cui lunghezza d'onda è 3; questa energia passa su di un secondo risonatore di cui la lunghezza d'onda è 5; essa rappresenta allora non più 3 ma 5 *quanti*, poiché il *quanto* del nuovo risonatore è più piccolo e perché nella trasformazione il numero degli atomi e la grandezza di ciascuno di essi è cambiata.

Ecco perché la teoria non soddisfa ancora lo spirito; bisogna d'altronde spiegare *perché* il *quanto* di un risonatore è in ragione inversa della lunghezza d'onda; ed è questo che ha deciso Planck a modificare il modo di esporre le sue idee. Ma a questo punto io sono un poco imbarazzato. Non vorrei né tradire Planck andando di là dal suo pensiero, più lontano di quanto egli non sia voluto andare, né vorrei non mostrare dove mi sembra che egli ci conduca.

Tradurrò dunque anzitutto il suo testo più esattamente che mi sarà possibile, pur riassumendolo.

Ricordo anzitutto che lo studio dell'equilibrio termodinamico è stato ricondotto a una questione di statistica e di probabilità.

« La probabilità di una variabile continua si ottiene prendendo in considerazione dei campi elementari indipendenti d'eguale probabilità.... Nella dinamica classica ci si serve, per trovare questi campi elementari, di quel teorema che due stati fisici di cui uno è l'effetto necessario dell'altro sono egualmente probabili. In un sistema fisico se si rappresenta con $q$ una delle coordinate generalizzate, e con $p$ il momento corrispondente, secondo il teorema di Liouville il campo $\int\int dp\ dq$ considerato in un istante qualunque è un invariante rapporto al tempo, se $q$ e $p$ variano conformemente alle equazioni di Hamilton. D'altra parte, $p$ e $q$

possono, a un istante dato, prendere tutti i valori possibili, indipendentemente l'uno dall'altro. Da cui segue che il campo elementare di probabilità è infinitamente più piccolo della grandezza $dp\,dq\ldots$ La nuova ipotesi deve avere per scopo di restringere la variabilità di $p$ e di $q$, in modo tale che quelle variabili non varino più che per salti, o che esse sieno considerate come legate in parte l'una all'altra. Si arriva così a ridurre il numero dei campi elementari di probabilità, in modo che l'estensione di ciascuno di essi si trovi aumentata. La ipotesi dei *quanti* d'azione consiste nel supporre che quei *campi* tutti eguali fra loro, non sono più infinitamente piccoli, ma finiti e che per ciascuno di essi si ha:

$$\iint dp\,dq = h$$

dove $h$ è una costante».

Credo necessario completare questa citazione con qualche spiegazione. Non posso spiegare qui che cos'è l'azione, le coordinate generalizzate e i momenti, né le diverse integrali che Planck fa entrare in linea; mi limiterò a dire che l'elemento di energia è eguale al prodotto della frequenza per l'elemento d'azione; e, se il *quanto* di energia è proporzionale alla frequenza, come abbiamo detto, è perché il *quanto* d'azione è una costante universale, un vero atomo.

Ma bisogna che cerchi di chiarire che cosa sono i campi elementari di probabilità. Questi campi sono indivisibili; cioè: dal momento che sappiamo di essere in uno di quei campi tutto è determinato; senza di che, se gli avvenimenti che debbono seguire non erano per questo fatto interamente conosciuti, se dovessero differire a seconda che noi ci trovassimo in tale o tal'altra parte di quel campo, è perché quel campo non sarebbe indivisibile dal punto di vista della probabilità giacché la probabilità di certi avvenimenti futuri non sarebbe la stessa nelle sue diverse parti.

Questo è quanto dire che tutti gli stati del sistema che corrispondono a uno stesso campo non si possono discernere fra di loro, che costituiscono un solo e medesimo stato, e così siamo

condotti al seguente enunciato, più preciso di quello di Planck e che non è, credo, contrario al suo pensiero.

*Un sistema fisico non è suscettibile che di un numero finito di stati distinti; esso salta da uno di questi stati all'altro senza passare per una serie continua di stati intermediari.*

Supponiamo per semplificare che lo stato del sistema dipenda da tre parametri soltanto, in modo che si possa rappresentarlo geometricamente con un punto dello spazio. L'insieme dei punti rappresentativi dei diversi stati possibili non sarà allora l'intero spazio o una regione di questo spazio quale si suppone ordinariamente; sarà un numero grandissimo di punti isolati disseminati nello spazio. Questi punti, è vero, sono molto fitti, e questo ci dà la illusione della continuità.

Tutti questi stati debbono essere considerati come egualmente probabili. Infatti, se ammettiamo il determinismo, a ciascuno di quegli stati deve necessariamente succedere un altro stato egualmente probabile, giacché è certo che il primo conduce al secondo. Si vedrebbe così che se noi partiamo da uno stato iniziale, tutti gli stati ai quali perverremo un giorno o l'altro sono tutti egualmente probabili. Gli altri non debbono essere considerati come possibili.

Ma i nostri punti rappresentativi isolati non debbono essere distribuiti nello spazio in un modo qualunque; debbono essere distribuiti in modo tale che osservandoli coi nostri sensi grossolani, si sia potuto credere alle leggi comuni della dinamica e per conseguenza a quelle di Hamilton. Un paragone che avvicina alla verità molto più di quello che non sembri mi aiuterà forse a farmi capire. Noi osserviamo un liquido e i nostri sensi ci invitano sul primo a credere che quella è della materia continua; una esperienza più precisa ci mostra che quel liquido è incomprimibile cosicché il volume di una porzione qualsiasi di materia resta costante. Delle ragioni qualsiasi ci inducono in seguito a pensare che quel liquido è formato di molecole molto piccole e molto numerose, ma discrete; ma non potremo più immaginare una distribuzione di quelle mo-

lecole senza porre alcun limite alla nostra fantasia, a causa della incomprimibilità, bisognerà supporre che due piccoli volumi eguali contengono lo stesso numero di molecole. Per la distribuzione degli stati possibili, Planck si trova costretto a una analoga restrizione, ed è appunto ciò che egli esprime con le equazioni che ho più sopra citato, e che qui non posso spiegare maggiormente.

Si potrebbero immaginare, è vero, delle ipotesi miste. Supponiamo ancora che il sistema fisico non dipenda che da tre parametri e che il suo stato possa essere rappresentato con un punto nello spazio. L'insieme dei punti rappresentativi degli stati possibili potrà non essere né una regione dello spazio né uno sciame di punti isolati; potrà essere composto da un gran numero di piccole superfici o di piccole curve separate le une dalle altre; sia per esempio che uno dei punti materiali del sistema possa descrivere solamente certe traiettorie, ma descriverle in modo continuo salvo quando salta da una traiettoria all'altra sotto l'influenza dei punti vicini: questo potrà essere il caso dei risonatori di cui abbiamo parlato più sopra. Oppure — anche — lo stato della materia ponderabile potrebbe variare in modo discontinuo, soltanto con un numero finito di stati possibili, mentre lo stato dell'etere varierebbe in modo continuo. Nulla di tutto questo sarebbe incompatibile col pensiero di Planck.

Ma senza dubbio si preferirà a tutte queste ipotesi bastarde la soluzione prima, la soluzione franca; soltanto bisogna rendersi conto di tutte le conseguenze a cui questo ci conduce: ciò che abbiamo detto dovrebbe applicarsi a un sistema isolato qualsiasi, e anche all'universo. L'universo dunque salterebbe bruscamente da uno stato all'altro, ma nell'intervallo resterebbe immobile; non sarebbe possibile discernere l'uno dall'altro i diversi istanti durante i quali esso resterebbe nello stesso stato. Arriveremmo così alla variazione discontinua del tempo, *all'atomo di tempo*.

### 6. La nuova teoria di Planck.

Ritorniamo a dei problemi meno generali e più precisi; per esempio alla teoria dell'irradiamento. Planck ha immaginato una modificazione alla sua prima teoria e vorrei dirne poche parole. Secondo le sue nuove idee, l'emissione della luce si effettuerebbe bruscamente per *quanti*, ma l'assorbimento sarebbe continuo. È voluto sfuggire così alla seguente difficoltà che gli è parsa, non so perché più imbarazzante per ciò che concerne l'assorbimento. La luce arriva sopra ogni risonatore in modo continuo; se essa non può essere assorbita che *quanto* per *quanto*, bisogna che l'energia si accumuli in una sorta di anticamere del risonatore, finché ve ne sia abbastanza da poter entrare. Nella seconda teoria questa difficoltà sparisce, ma ci vuol sempre una sala d'aspetto per l'energia che esce poiché l'etere non può trasmetterla che per frazioni infinitamente piccole.

Nella nuova teoria, i risonatori conserveranno un residuo di energia anche allo zero assoluto. Se adottiamo il nuovo modo di vedere di Planck bisogna allora modificare la relazione fra l'energia del corpo irradiante e la intensità del suo irradiamento. Questo irradiamento non è più proporzionale all'energia, ma soltanto all'accesso di questa energia sul residuo che sussiste allo zero assoluto.

Confesserò che non sono stato intieramente soddisfatto da questa nuova ipotesi? Planck non parla che della emissione e dell'assorbimento e ne parla come se il risonatore fosse fisso; non si tratta né dello scambio di energia per urti, né del principio di Döppler-Fizeau; in queste condizioni non ci può dunque essere tendenza verso uno stato finale, l'ho detto più sopra; la dimostrazione con la quale si cerca di farci conoscere questo stato finale non è dunque che una sorta di inganno visivo. L'autore non dice se gli scambi per urti sono continui come l'assorbimento, o discontinui come l'emissione, e quando si vuole applicare la teoria generale degli scambi per urti non si ritrovano più i risultati di Planck. Bisogna dunque attenersi alle sue prime idee.

## 7. Le idee di Sommerfeld.

Sommerfeld ha proposto una teoria che vuol ricongiungere con quella di Planck, per quanto il solo legame che c'è fra le due teorie sia che la lettera *h* figura nelle due formule e che è stato dato lo stesso nome di *quanto* d'azione ai due oggetti molto diversi che quella lettera rappresenta.

L'urto degli elettroni non seguirebbe affatto le stesse leggi di quello dei corpi complessi che noi conosciamo e che sono accessibili all'esperienza. Quando un elettrone incontra un ostacolo si arresterebbe tanto più presto quanto più grande è la sua velocità (se questa legge fosse applicabile ai treni, il problema dei freni si presenterebbe sotto un aspetto nuovo). E questo si applica alla produzione dei raggi X. I raggi catodici sono degli elettroni in movimento; questi elettroni si arrestano incontrando l'anticatodo; questo arresto brusco scuote l'etere le cui vibrazioni producono i raggi X. La teoria di Sommerfeld spiega perché i raggi X sono tanto più penetranti e più « duri » quanto più grande era la velocità dei raggi catodici. Infatti più grande è questa velocità, più l'arresto è brusco, più intensa e di corta durata è, conseguentemente, la perturbazione dell'etere.

## 8. Conclusione.

Si vede bene qual'è lo stato della questione: le antiche teorie, che sin qui sembravano render conto di tutti i fenomeni conosciuti, hanno urtato contro un ostacolo inatteso. È sembrato che una modificazione si imponesse. Una ipotesi si è sulle prime presentata allo spirito di Planck, ma talmente strana che si era tentati di cercare tutti i modi per liberarsene; questi modi si sono sin qui cercati invano. E ciò non impedisce che la nuova teoria sollevi un monte di difficoltà, delle quali molte sono reali e non sono delle semplici illusioni dovute alla pigrizia del nostro spirito al quale ripugna cambiare le sue abitudini.

Per il momento è impossibile prevedere qule sarà l'uscita finale. Si troverà un'altra spiegazione completamente diversa, oppure i partigiani della nuova teoria riusciranno a rimuovere gli ostacoli che ci impediscono di adottarla senza riserve? La discontinuità regnerà sull'universo fisico? Il suo trionfo sarà definitivo? Oppure si riconoscerà che questa discontinuità non è che apparenza e dissimula una serie di processi continui? Il primo che ha veduto un urto ha creduto di osservare un fenomeno discontinuo e noi sappiamo oggi che egli non ha veduto che l'effetto di cambiamenti di velocità rapidissimi, ma continui. Cercare oggi di dare un giudizio su queste questioni sarebbe buttar via l'inchiostro.

## LA FINE DELLA MATERIA (1)

Una delle più stupefacienti scoperte che i fisici abbiano annunziato in questi ultimi anni è che la materia non esiste. Affrettiamoci a dire che questa scoperta non è ancora definitiva. L'attributo essenziale della materia è la sua massa, la sua inerzia. La massa è ciò che sempre e dappertutto resta costante, ciò che sussiste quando una trasformazione chimica ha alterato tutte le qualità sensibili della materia e sembra averne fatto un altro corpo. Se dunque si giungesse a dimostrare che la massa, l'inerzia della materia in realtà non le appartengono, che è un lusso preso a prestito di cui si adorna, che quella massa, la costante per eccellenza, è essa stessa suscettibile di alterazione, si potrebbe veramente affermare che la materia non esiste. Ora, è appunto questo che si annunzia.

Le velocità che fino ad ora avevamo potuto osservare erano assai deboli, giacché i corpi celesti che lasciano molto lontano dietro di loro i nostri automobili, fanno appena dai 60 ai 100 chilometri al secondo. La luce, è vero, è 3000 volte più veloce ma non è una materia che si sposta, è una perturbazione che si propaga attraverso una sostanza relativamente immobile, come un'onda alla superficie di un oceano. Tutte le osservazioni fatte con quelle deboli velocità mostravano la costanza della massa,

(1) Da *La Science et l'Hypothèse*, ediz. cit., pp. 282 a 289.

e nessuno si era chiesto se sarebbe stato lo stesso con velocità più grandi.

Sono gli infinitamente piccoli che hanno battuto il primato di Mercurio, il pianeta più rapido: voglio parlare dei corpuscoli i movimenti dei quali producono i raggi catodici e quelli del radio. Si sa che queste radiazioni sono dovute a un vero bombardamento molecolare. I proiettili lanciati in quei bombardamenti sono carichi di elettricità negativa e possiamo assicurarcene raccogliendo quella elettricità in un cilindro di Faraday. A cagione della loro carica essi sono deviati tanto da un campo magnetico che da un campo elettrico, e confrontando quelle deviazioni possiamo conoscere la loro velocità e il rapporto fra la velocità e il rapporto fra la loro carica e la loro massa.

Ora queste misure ci hanno rivelato da una parte che la loro velocità è enorme, che è la decima parte o la terza parte di quella della luce, mille volte quella dei pianeti e d'altra parte che la loro carica è considerevole in rapporto alla loro massa.

Ogni corpuscolo in movimento rappresenta dunque una notevole corrente elettrica. Ma noi sappiamo che le correnti elettriche presentano una sorta di inerzia speciale chiamata *self*-induzione. Una corrente, una volta stabilitasi tende a mantenersi ed è per questo che quando si vuole interrompere una corrente tagliando il conduttore che essa attraversa vediamo formarsi una scintilla nel punto di rottura. Così la corrente tende a conservare la sua intensità nello stesso modo che un corpo in movimento tende a conservare la sua velocità. Dunque il nostro corpuscolo catodico resisterà alle cause che potrebbero alterare la sua velocità, per due ragioni: anzitutto per la sua inerzia propriamente detta e inoltre per la sua *self*-induzione perché ogni alterazione della velocità sarebbe nello stesso tempo una alterazione della corrente corrispondente. Il corpuscolo — l'*elettrone*, come si dice — avrà dunque due inerzie: la inerzia meccanica e la inerzia elettromagnetica.

Abraham e Kaufmann, uno calcolatore l'altro sperimentatore, hanno unito i loro sforzi per determinare la parte dell'una

e dell'altra. Per far questo sono stati costretti ad ammettere un'ipotesi: hanno pensato che tutti gli elettroni negativi sono identici, che hanno la stessa carica essenzialmente costante, e che le differenze che si costatano fra loro provengono unicamente dalle differenti velocità dalle quali sono animati. Quando la velocità varia, la massa reale, la massa meccanica resta costante; è per così dire, la sua stessa definizione; ma l'inerzia elettromagnetica che contribuisce a formare la massa apparente cresce con la velocità seguendo una certa legge. Ci deve essere dunque una relazione fra la velocità e il rapporto della massa rispetto alla carica, quantità che si possono calcolare, l'abbiamo già detto, osservando le deviazioni dei raggi sotto l'azione d'una calamita o di un campo elettrico; e lo studio di questa relazione permette di determinare la parte delle due inerzie. Il resultato è assolutamente sorprendente: *la massa reale è nulla.*

È vero che bisogna ammettere l'ipotesi fatta in principio, ma la concordanza della curva teorica e della curva sperimentale è abbastanza grande per rendere quella ipotesi assai verosimile.

Così questi elettroni negativi non hanno massa propriamente detta; se sembrano dotati di inerzia è perché non saprebbero cambiare di velocità senza disturbare l'etere. La loro inerzia apparente non è che un prestito, non appartiene a loro, appartiene all'etere. Ma questi elettroni negativi non sono tutta la materia; si potrebbe dunque ammettere che al di fuori di essi c'è una vera materia dotata di una inerzia propria. Ci sono certe radiazioni (come i raggi-canale di Goldstein, i raggi $\alpha$ del radio) che sono dovute anche a una pioggia di proiettili ma di proiettili carichi positivamente; questi elettroni positivi sono anch'essi sprovvisti di massa? È impossibile dirlo, perché sono molto più pesanti e molto meno rapidi degli elettroni negativi. E allora due ipotesi restano ammissibili: o gli elettroni sono più pesanti perché al di fuori della loro inerzia elettromagnetica presa a prestito essi hanno una inerzia meccanica propria, e allora sono essi la vera materia, oppure sono senza massa come gli altri, e se ci appaiono più pesanti è perché sono più piccoli. Dico proprio

*più piccoli* quantunque ciò possa parere paradossale; giacché in questa concezione il corpuscolo non sarebbe che un moto nell'etere, solo reale, solo dotato di inerzia.

Fin qui la materia non è troppo compromessa; noi possiamo ancora adottare la prima ipotesi, o anche credere che al di fuori degli elettroni positivi e negativi, ci sono degli atomi neutri. Le recenti ricerche di Lorentz ci tolgono quest'ultima risorsa. Noi siamo trascinati nel movimento della Terra che è rapidissimo; i fenomeni ottici e elettrici non saranno alterati da questa traslazione? Si è creduto per molto tempo, e si è supposto che le osservazioni rivelerebbero delle differenze, a seconda della orientazione degli apparecchi in rapporto al movimento della Terra. Niente di tutto questo; e le misure più delicate non hanno mostrato nulla di simile. E in questo le esperienze giustificavano una repugnanza comune a tutti i fisici. Effettivamente se si fosse trovato qualchecosa si sarebbe potuto conoscere non solamente il movimento relativo della Terra in rapporto al Sole, ma anche il suo movimento assoluto nell'etere. Ora molti duran fatica a credere che nessuna esperienza possa dare altro che un movimento relativo; essi si adatterebbero più volentieri a credere che la materia non ha massa.

Non si fu dunque troppo meravigliati dei resultati negativi ottenuti; questi resultati erano contrari alle teorie che si insegnavano, ma lusingavano un istinto profondo anteriore a tutte quelle teorie. D'altronde bisognava conseguentemente modificare quelle teorie per metterle in armonia coi fatti. Ciò è stato fatto da Fitzgerald con una ipotesi sorprendente: egli ammette che tutti i corpi subiscono una contrazione di circa un centimilionesimo nella direzione del movimento della Terra. Una sfera perfetta diviene un elissoide appiattito, e se lo facessimo girare esso si deforma in modo che il piccolo asse dell'elessoide resta sempre parallelo alla velocità della Terra. Siccome gli strumenti di misura subiscono le stesse deformazioni degli oggetti da misurare, non ci si accorge di nulla a meno che non si pensi a determinare il tempo che mette la luce a percorrere la lunghezza dell'oggetto.

Questa ipotesi rende conto dei fatti osservati. Ma non è abbastanza; un giorno si faranno delle osservazioni ancora più precise e i resultati saranno allora positivi; ci consentiranno questi di determinare il movimento assoluto della Terra? Lorenz non lo crede; egli pensa che questa determinazione sarà sempre impossibile; l'istinto comune a tutti i fisici, gli insuccessi avuti fino ad oggi glielo garantiscono sufficientemente. Consideriamo dunque questa impossibilità come una legge generale della natura; ammettiamola come postulato. Quali ne saranno le conseguenze? È proprio questo che Lorenz ha cercato, e ha trovato che tutti gli atomi, tutti gli elettroni negativi e positivi, dovevano avere una inerzia variabile con la velocità e precisamente secondo le stesse leggi. Così ogni atomo materiale sarebbe formato di elettroni negativi piccoli e pesanti, e di elettroni negativi grossi e leggeri; e se la materia sensibile non ci sembra elettrizzata, ciò dipende dal fatto che le due specie d'elettroni sono press'a poco in numero eguale. Gli uni e gli altri sono sprovvisti di massa e non hanno che una inerzia presa a prestito. In questo sistema non c'è vera materia, ci sono soltanto dei buchi nell'etere.

Per Langevin la materia sarebbe dell'etere liquefatto che ha perduto le sue proprietà; quando la materia si sposta non sarebbe questa massa liquefatta che cammina attraverso l'etere; ma la liquefazione si estenderebbe a nuove porzioni dell'etere passando da un punto a quello prossimo, mentre indietro le parti prima liquefatte riprenderebbero il loro stato primitivo. La materia movendosi non conserverebbe la propria identità.

Ecco a che punto era la questione qualche tempo fa; ma ora Kaufmann annuncia nuove esperienze. L'elettrone negativo la cui velocità è enorme, dovrebbe subire la contrazione di Fitzgerald, e la relazione verrebbe a esserne modificata. Ma le recenti esperienze non confermano questa previsione; tutto allora crollerebbe e la materia riprenderebbe i suoi diritti alla esistenza. Ma le esperienze sono delicate, e una conclusione definitiva è oggi prematura.

## LA MORALE E LA SCIENZA (1)

Nell'ultima metà del secolo XIX si è spesso sognato di creare una morale scientifica. E non ci si contentava di vantare la virtù educatrice della scienza, e i vantaggi che al perfezionamento dell'anima umana possono derivare dal commercio della verità guardata bene in faccia; ma si pensava anche che la scienza avrebbe messo le verità morali al di sopra d'ogni possibile contestazione, così come ha fatto per i teoremi dei matematici e per le leggi enunciate dai fisici.

Certo, le religioni possono avere una grande potenza sulle anime dei credenti, ma non tutti sono credenti; la fede non si impone che a qualcheduno, la ragione si imporrebbe a tutti. Bisognava dunque rivolgersi alla ragione; e non si dice a quella dei metafisici le cui costruzioni sono brillanti ma effimere come le bolle di sapone con le quali ci si diverte un istante e che scoppiano. La scienza soltanto costruisce solidamente; ha costruito l'astronomia e la fisica; oggi costruisce la biologia. Con gli stessi procedimenti costruirà domani la morale; e le sue prescrizioni regneranno indiscusse. Nessuno potrà mormorare contro di esse, e non si penserà ad insorgere contro la legge morale così come oggi non si pensa a ribellarsi contro il teorema delle tre perpendicolari o contro la legge di gravitazione.

Ma d'altra parte c'era della gente che pensava della scienza

---

(1) Da *Dernières Pensées*, ediz. cit., pp. 223 a 247.

tutto il male possibile, che nella scienza vedeva una scuola di immoralità. Non solamente — pensava quella gente — la scienza accorda troppo posto alla materia e ci toglie il senso del rispetto, (giacché non si rispetta veramente se non ciò che non si osa guardare); ma le sue conclusioni potranno anche essere una vera negazione della morale. Essa, come ha detto non so più qual celebre autore, spegnerà le luci del cielo o, almeno, le priverà di ciò che esse hanno di misterioso per ridurle allo stato di volgari becchi di gas; e scoprirà i trucchi del Creatore il quale perderà così una parte del suo prestigio. Non è bene permettere ai bimbi di guardare dietro le quinte; ciò potrebbe ispirar loro qualche dubbio sull'esistenza dell'orco. Se lasciamo fare agli scienziati presto non ci sarà più morale.

Che cosa dobbiamo pensare di quelle speranze e di quei timori?

Non esito a rispondere: le une e gli altri sono vani. Non ci può essere morale scientifica, ma non ci può nemmeno essere scienza immorale. E la ragione è semplice. È una ragione — come dire? — puramente grammaticale.

Se le premesse di un sillogismo sono tutte e due all'indicativo, la conclusione, sarà anch'essa all'indicativo. Perché la conclusione potesse essere all'imperativo bisognerebbe che almeno una delle due premesse fosse all'imperativo. Ora, i principi scientifici, i postulati della geometria sono e non possono essere che all'indicativo; le verità sperimentali sono tutte al modo indicativo e alla base della scienza non c'è né ci può essere altro. Ciò posto, il più sottile dei dialettici potrà fare con quei principi tutte le acrobazie che crede, combinarli, metterli uno sull'altro; tutto quello che otterrà sarà all'indicativo. Non otterrà mai una proposizione che dica: fa questo, non far quello; che è quanto dire una proposizione che confermi o contradica la morale.

Questa difficoltà i moralisti la incontrano da molto tempo. Essi si sforzano di dimostrare la legge morale; è bisogna perdonarglielo perché quello è il loro mestiere; vogliono appoggiare la morale su qualchecosa come se essa potesse poggiare su

altro che non su se stessa! La scienza ci dimostra che l'uomo non può che degradarsi vivendo in questo o in quel modo; e se io mi infischio di degradarmi, e quello che voi chiamate degradazione io lo battezzo progresso?

La metafisica ci impegna a conformarci alla legge generale dell'essere che essa pretende d'aver scoperto; ma io posso rispondere che preferisco obbedire alla mia legge particolare. Non so quello che essa risponderà ma posso assicurarvi che non sarà lei ad avere l'ultima parola.

La morale religiosa sarà più fortunata della scienza e della metafisica? « Obbedite perché è Iddio che lo ordina e perché Egli è un padrone che può spezzare ogni resistenza ». È questa una dimostrazione? Non si potrà pur sempre sostenere che è bello rivoltarsi contro la onnipotenza e che nel duello fra Giove e Prometeo il vero vincitore è Prometeo torturato? Eppoi, cedere alla forza non è obbedire, e l'obbedienza dei cuori non può essere imposta.

E nemmeno possiamo fondare una morale sull'interesse della comunità, sulla nozione di patria, sull'altruismo, giacché resterebbe sempre da dimostrare che bisogna, quand'è necessario, sacrificarsi per la città di cui facciamo parte, oppure per l'altrui felicità; e questa dimostrazione, nessuna logica, nessuna scienza può fornircela. Meglio ancora, la stessa morale dell'interesse inteso bene, quello dell'egoismo, sarebbe impotente, giacché, dopo tutto, non è sicuro che convenga essere egoisti e c'è appunto molta gente che non lo è affatto.

Dunque ogni morale dogmatica ogni morale dimostrativa è votata ad un sicuro insuccesso; essa è come una macchina che avesse tutte le trasmissioni di movimento e mancasse di energia motrice. Il motore morale, quello che può mettere in azione tutto l'apparecchio delle bielle e degli ingranaggi, non può essere che un sentimento. Non è possibile dimostrare che dobbiamo aver pietà degli infelici, ma metteteci in presenza di miserie immeritate, spettacolo ahimé anche troppo frequente, e ci sentiremo presi da un senso di rivolta; non so quale energia si solle-

verà in noi che non ascolterà nessun ragionamento e ci trascinerà irresistibilmente e come nostro malgrado.

Non si può dimostrare che dobbiamo obbedire a un Dio, quand'anche si dimostrasse che è onnipotente e che ci può schiacciare, quand'anche fosse provato che è buono e che gli dobbiamo riconoscenza; c'è molta gente la quale crede che il diritto alla ingratitudine è la più preziosa di tutte le libertà. Ma se noi amiamo quel Dio, ogni dimostrazione diventerà inutile e l'obbedienza ci sembrerà naturalissima. È appunto per questo che le religioni sono potentissime e le metafisiche no.

Quando ci si chiede di giustificare con dei ragionamenti il nostro amore per la patria, noi possiamo trovarci imbarazzati, ma se immaginiamo i nostri eserciti vinti, la Francia invasa, il cuore ci balzerà nel petto le lacrime ci saliranno agli occhi e non ascolteremo più nulla. E se certuni oggi accumulano tanti sofismi ciò dipende senza dubbio da mancanza di immaginazione; essi non sanno rappresentare a se stessi tutti quei mali e se la sfortuna o qualche punizione celeste volesse che essi li vedessero, quei mali, coi loro occhi, ebbene la loro anima certamente si rivolterebbe come la nostra.

La scienza non può dunque da sola creare una morale; e non può nemmeno da sola e direttamente scuotere o distruggere la morale tradizionale.

Ma potrà essa esercitare sulla morale una azione indiretta? Quello che ho detto più sopra indica attraverso quale meccanismo potrebbe farlo, e cioè essa potrebbe far nascere dei sentimenti nuovi; ma non nuovi nel senso che potrebbero essere oggetto di dimostrazione, bensì perché ogni forma di attività umana reagisce sull'uomo stesso e gli fa come un'anima nuova. C'è una psicologia professionale per ogni mestiere; i sentimenti del lavoratore non sono quelli del finanziere e lo scienziato ha anch'esso la sua particolare psicologia, intendo la sua psicologia affettiva, e qualchecosa di questa particolare psicologia può in certo modo comunicarsi a chi fa della scienza solo occasionalmente.

D'altra parte, la scienza può mettere in azione quei sentimenti che esistono naturalmente nell'uomo. Per riprendere il nostro paragone di poco fa, avremo un bel costruire apparati complicati di bielle e di manovelle, la macchina non andrà se non ci sarà vapore nella caldaia; ma se il vapore ci sarà, il lavoro che esso farà non sarà sempre lo stesso; il lavoro dipenderà dal meccanismo al quale il vapore sarà applicato. Allo stesso modo possiamo dire che il sentimento ci fornisce soltanto un mobile generico d'azione; ci darà dunque la premessa maggiore del sillogismo che, come conviene, sarà all'imperativo; da parte sua la scienza ci fornirà la minore che sarà all'indicativo, dopo di che ne trarrà la conclusione che potrà essere all'imperativo. Esamineremo ora successivamente quei due punti di vista.

E anzitutto può la scienza divenir creatrice di sentimenti? Ciò che la scienza non può fare, potrà farlo l'amore della scienza?

La scienza ci mette in rapporto costante con qualche cosa che è più grande di noi; essa ci offre uno spettacolo sempre nuovo e sempre più vasto; dietro quel che ci mostra di grande essa ci fa indovinare qualche cosa di ancora più grande; quello spettacolo è per noi una gioia ma è una gioia nella quale dimentichiamo noi stessi ed è per questo che essa è moralmente sana. Colui che avrà assaporato, che avrà visto sia pur da lontano la splendida armonia delle leggi naturali, sarà meglio di un altro disposto a non far caso dei suoi piccoli interessi egoistici; avrà un ideale che amerà più di se stesso e questo è il solo terreno sul quale si può costruire una morale. Per quell'ideale egli lavorerà senza misurare la sua fatica e senza ripromettersi nessuna di quelle grossolane ricompense che per certi uomini sono tutto. E quando in questo modo avrà preso l'abitudine del disinteresse, questa abitudine lo seguirà dovunque; tutta la sua vita ne sarà come profumata.

Tanto più che la passione che lo ispira è l'amore della verità; e un tale amore non è forse tutta una morale? C'è qualchecosa che sia necessario combattere più della menzogna che è uno dei

vizi più frequenti nell'uomo primitivo e uno dei più degradanti? Ebbene quando avremo preso l'abitudine del metodo scientifico, della sua scrupolosa esattezza, quando avremo orrore per ogni ritocco dato all'esperienza, quando ci saremo abituati a temere come il colmo del disonore il rimprovero d'avere sia pure innocentemente truccato appena i risultati di un'esperienza, quando tutto ciò sarà divenuto per noi un abito professionale indelebile, una seconda natura, non porteremo noi in ogni nostra azione quella stessa preoccupazione di sincerità assoluta, fino al punto di non capire più ciò che spinge gli altri uomini a mentire? E non è questo il modo di conquistare la più difficile di tutte le sincerità, quella che consiste nel non ingannare se stessi?

Nei momenti di debolezza la grandezza del nostro ideale ci sosterrà. Se ne può preferire un altro ma dopo tutto il Dio dello scienziato non diventa sempre più grande mano a mano che si allontana da noi? Certo è inflessibile, e molte anime ne soffriranno, ma almeno non partecipa alle nostre piccolezze e ai nostri rancori meschini come fa troppo spesso il Dio dei teologhi. Questa idea di una regola più forte di noi alla quale non ci si può sottrarre e che bisogna ad ogni costo accettare, può anch'essa avere un effetto salutare; lo si può, almeno, sostenere. Non sarebbe meglio che i nostri contadini sapessero che la legge non può mai esser piegata piuttosto che credere che il governo la piegherà in loro favore se essi invocheranno la intercessione di un deputato abbastanza influente?

La scienza, come ha detto Aristotile, ha per oggetto il generale; posta di fronte a un fatto particolare, essa vorrà conoscere la legge generale, aspirerà ad una generalizzazione sempre più estesa.

In questo sembra a tutta prima che non ci sia altro che una abitudine intellettuale. Ma le abitudini intellettuali hanno anche una loro risonanza morale. Se voi vi siete abituati a far poco caso del particolare, dell'accidentale perché la vostra intelligenza non se ne interessa più, sarete naturalmente portati a non dargli

importanza, a non vederci un oggetto desiderabile, e a sacrificarlo quindi senza fatica. A forza di guardare da lontano si diventa presbiti, per così dire; non si vede più quel che è piccolo e non vedendolo più, si è condotti a non farne più lo scopo della vita. Così ci troveremo naturalmente propensi a subordinare gli interessi particolari agli interessi generali; e anche questa è una morale.

Eppoi la scienza ci rende un altro servizio: essa è un'opera collettiva, né può essere diversamente; essa è come un monumento la cui costruzione richiede dei secoli e alla quale ciascuno deve portare la sua pietra; e questa pietra costa talvolta tutta una vita. Essa ci dà dunque il sentimento della cooperazione necessaria, della solidarietà dei nostri sforzi e di quelli dei nostri contemporanei e anche di coloro che ci hanno preceduto e di quelli di coloro che succederanno a noi.

Si sente d'essere soltanto un soldato, il piccolo frammento di un tutto. È lo stesso sentimento della disciplina che forma le coscienze militari, e che trasforma talmente l'anima semplice d'un contadino e quella senza scrupoli di un avventuriero da renderle capaci di tutti gli eroismi e di tutte le dedizioni. In condizioni ben diverse può esercitare in modo analogo una azione benefica. Noi sentiamo di lavorare per l'umanità, e l'umanità ci diventa più cara.

Ecco il pro; ora vediamo il contro.

Se la scienza non ci appare più come impotente sui cuori né come indifferente riguardo alla morale, non potrebbe avere una influenza nociva come ne ha una utile? E anzitutto, ogni passione è esclusiva; non ci farà dunque perdere di vista tutto quello che essa non è? L'amore della verità è senza dubbio una gran cosa; ma che brutto affare faremmo se per esso noi sacrificassimo qualchecosa di infinitamente più prezioso come la bontà, la pietà, l'amore del prossimo. Alla notizia di una qualsiasi catastrofe, d'un terremoto per esempio, noi dimenticheremo le sofferenze delle vittime per non pensare che alla direzione e alla ampiezza delle scosse; considereremo quel terremoto come

una fortuna se per esso avremo scoperto qualche nuova legge di sismologia.

Ed ecco un altro esempio che si impone: i fisiologi praticano la vivisezione senza scrupoli, e questo sembra a molte vecchie signore un delitto che nessun beneficio passato o futuro della scienza potrà mai scusare.

A crederle, i biologi così spietati per gli animali non potranno essere che feroci con gli uomini. Senza alcun dubbio esse si ingannano; io ne ho conosciuti di umanissimi.

La questione della vivisezione merita che ci si soffermi su di essa un momento, per quanto mi trascini un po' fuori del mio soggetto. Si tratta qui di un di quei conflitti di doveri che la vita pratica ci mostra spesso. L'uomo non può rinunciare a sapere senza diminuirsi ed è per questo che gli interessi della scienza sono sacri; anche a causa dei mali che essa può prevenire e guarire il numero dei quali è incalcolabile. D'altra parte far soffrire è una empietà (non parlo della morte, parlo della sofferenza); e nonostante che gli animali inferiori sieno assai meno sensibili dell'uomo, essi meritano la pietà. Il biologo non deve intraprendere sia pure *in anima vili* se non quelle esperienze che sieno realmente utili; ci sono anche molto spesso dei modi di ridurre al minimo il dolore: egli deve servirsene. Ma in queste questioni bisogna render conto soltanto alla propria coscienza; qualsiasi intervento legale sarebbe inopportuno e un po' ridicolo. In Inghilterra dicono che il Parlamento può tutto eccetto che cambiare l'uomo in donna; io direi che il Parlamento può tutto eccetto che pronunciare un verdetto in materia scientifica. Non c'è nessuna autorità che possa enunciare delle regole per decidere se una esperienza è utile.

Ma torno al mio soggetto. C'è della gente la quale dice che la scienza ci inaridisce, che ci attacca alla materia, che uccide la poesia, sorgente unica di tutti i sentimenti generosi. L'anima che essa ha toccato appassisce e diviene refrattaria a tutti i più nobili slanci, a tutte le tenerezze, a tutti gli entusiasmi. Questo io non lo credo ed ho detto poco fa appunto il contrario; ma quella

opinione è molto diffusa e deve avere un qualche fondamento e prova che un medesimo nutrimento non conviene a tutti.

Che cosa dobbiamo concludere? La scienza intesa largamente e insegnata da maestri che la comprendono e l'amano, può avere una parte molto utile e molto importante nella educazione morale; sarebbe un errore volerle dare una parte esclusiva. Essa può far nascere dei sentimenti benèfici che possono servire di motore morale; ma altre discipline lo possono egualmente, e sarebbe una sciocchezza privarsi di ogni altro aiuto. Tutte quelle forze riunite non sono troppe. C'è della gente che non ha intelligenza per le cose scientifiche; ed è un fatto di osservazione corrente che in tutte le classi vi sono allievi *bravi* in letteratura e che non lo sono nelle scienze. Che illusione credere che se la scienza non può parlare alla loro intelligenza potrà parlare al loro cuore!

E vengo al secondo punto: non soltanto la scienza, come qualsiasi modo di attività, può generare sentimenti nuovi ma può, sui sentimenti antichi, su quelli che nascono spontaneamente nel cuore dell'uomo, edificare una costruzione nuova. Non si può concepire un sillogismo con le due premesse all'indicativo e la conclusione all'imperativo; ma si possono concepire sillogismi costruiti sul tipo seguente: fai questo; ora, quando non si fa quello, non si può fare questo; dunque fai quello. E ragionamenti simili non sono affatto fuori della portata della scienza.

I sentimenti sui quali la morale può appoggiarsi sono di natura assai diversa; e non si trovano tutti allo stesso grado in tutte le anime. In alcune predominano certi sentimenti, in altre sono altre le corde sempre disposte a vibrare. Molti saranno innanzi tutto sensibili alla pietà e saranno commossi dall'altrui sofferenza; altri subordineranno tutto all'armonia sociale, alla prosperità generale; o meglio ancora desidereranno la grandezza del loro paese. Altri avranno forse un ideale di bellezza, oppure crederanno che il nostro primo dovere è quello di perfezionare sé stessi, di cercare d'essere sempre più forti, di rendersi superiori

alle cose, indifferenti alla sorte, e di non diminuirci dinanzi a noi stessi.

Tutte queste tendenze sono lodevoli, ma sono diverse; e forse da questa diversità nascerà un conflitto. Se la scienza ci mostra che questo conflitto non è da temere, se ci prova che non sarà possibile raggiungere uno di quegli scopi senza mirare all'altro (e ciò è di sua competenza), essa avrà fatto opera utile, essa avrà portato ai moralisti un aiuto prezioso.

Quelle truppe che finora combattevano in ordine sparso, e nelle quali ogni soldato marciava verso un particolare obiettivo, ora serreranno le file perché avremo loro dimostrato che la vittoria di ciascuno è la vittoria di tutti. I loro sforzi saranno coordinati e la folla incosciente diverrà un esercito disciplinato.

È veramente in questo senso che la scienza cammina? È lecito sperarlo. Giacché essa tende sempre più a mostrarci la solidarietà delle diverse parti dell'universo e a svelarcene l'armonia. Ma quell'armonia è reale oppure è un bisogno della nostra intelligenza e per conseguenza un postulato della scienza?

Non voglio intraprendere lo studio di questa questione. Ad ogni modo è certo che la scienza va verso l'unità e ci fa andare verso l'unità. E allo stesso modo che coordina le leggi particolari e le riallaccia ad una legge più generale, non potrà essa ridurre anche all'unità le aspirazioni intime dei nostri cuori così estranee le une alle altre?

Ma se essa fallisce in questo compito, che pericolo e che disillusione! Non potrà in questo caso fare essa un male così grande quando era il bene che sperava potesse fare?

Quegli affetti, quei sentimenti così fragili, così delicati, potranno sopportare l'analisi? La luce più lieve non ce ne rivelerà forse la vanità e non giungeremo noi al solito: *a che pro?* A che pro la pietà se più si fa per gli uomini e più essi divengono esigenti e per conseguenza più insoddisfatti della loro sorte? Poiché la pietà non solo genera ingrati, ciò che importerebbe poco, ma inaridisce gli animi. A che pro l'amore della patria se in fondo la sua grandezza non è sovente che brillante miseria;

a che pro cercare di perfezionarsi se non viviamo che un giorno? Che disgrazia se la scienza desse a questi sofismi il peso della sua autorità!

Eppoi le nostre anime sono un tessuto complicato dove i fili formati dall'associazione delle nostre idee si incrociano e si aggrovigliano in tutti i sensi; tagliare uno di quei fili vuol dire rischiare di provocare strappi così vasti come nessuno potrebbe prevedere. Quel tessuto non siamo noi che l'abbiam fatto; è una eredità del passato e spesso le nostre più nobili aspirazioni sono attaccate, — senza che noi lo sappiamo, — ai pregiudizi più vieti e ridicoli. La scienza distruggerà quei pregiudizi: è il suo compito naturale, è il suo dovere; ma allora, le nobili tendenze legate da vecchie abitudini a quei pregiudizi non ne soffriranno? Certamente no, presso gli animi forti; ma non vi sono soltanto animi forti e spiriti chiaroveggenti, vi sono anche anime semplici che rischiano di non resistere alla prova.

Si pretende dunque che la scienza sarà distruttrice; e ci si spaventa all'idea delle rovine che essa provocherà e si teme che dove essa sarà passata le società non potranno più vivere. Non c'è in questi timori una sorta di contradizione interna? Se si dimostra scientificamente che questo o quel costume che si considerava come indispensabile all'esistenza stessa delle società umane non aveva in realtà l'importanza che gli si attribuiva, e che solo la sua venerabile antichità ci illudeva sul suo valore, se questo si dimostra, ammettendo che la dimostrazione sia possibile, non sarà scossa la vita morale dell'umanità? Delle due cose l'una: o quel costume è utile e allora una scienza ragionevole non potrà dimostrare che è inutile; o esso è inutile e non dovremo rimpiangerlo. Dal momento che poniamo alla base dei nostri sillogismi uno di quei sentimenti generosi che generano la moralità, è sempre quel sentimento e cioè è sempre la morale che dovremo ritrovare alla fine di tutta la catena dei nostri ragionamenti, se questa è stata condotta conformemente alle regole della logica. Ciò che rischierà di cadere sarà ciò che non è essenziale, ciò che nella nostra vita morale non era altro che un accidente; la sola

cosa che importa non si può non trovarla nelle conclusioni giacché è nelle premesse.

Non bisogna diffidare che della scienza incompleta, quella che sbaglia, quella che ci inganna con vane apparenze e ci insegna così a distruggere quel che vorremmo costruire dopo, quando siamo meglio informati e quando è troppo tardi. C'è della gente che si fissa su di un'idea non perché è giusta ma perché è nuova, perché è alla moda; costoro sono dei terribili distruttori, ma non sono.... stavo per dire che non sono degli scienziati, ma penso che molti di loro hanno reso dei grandi servizi alla scienza e allora dico che, sì, sono degli scienziati, ma non lo sono a causa di quel loro atteggiamento ma malgrado quello.

La vera scienza teme le generalizzazioni affrettate, le deduzioni teoriche; e se il fisico ne diffida, nonostante che quelle con le quali egli ha che fare sieno coerenti e solide, che cosa deve fare il moralista, il sociologo quando le cosiddette teorie di fronte alle quali egli si trova si riducono a paragoni grossolani come quello dell società con gli organismi! La scienza invece non è e non può essere che sperimentale e l'esperienza in sociologia è la storia del passato, è la tradizione che indubbiamente bisogna criticare, ma della quale non si deve fare *tabula rasa*.

Di un scienza animata dal vero spirito sperimentale, la morale non ha nulla da temere; una simile scienza è rispettosa del passato, essa è l'opposto di quello snobismo scientifico che così facilmente inganna con le novità; essa non avanza che passo per passo ma sempre nello stesso senso e sempre nel senso buono — nel buon senso. Il migliore rimedio contro una mezza scienza è più scienza.

C'è anche un altro modo di concepire i rapporti fra la scienza e la morale.

Nessun fenomeno può non essere oggetto di scienza perché non ve n'ha alcuno che non possa essere osservato. I fenomeni morali non possono sfuggire nemmeno essi alla osservazione. Il naturalista studia le società delle formiche e delle api e le studia con serenità; allo stesso modo lo scienziato cerca di giudicare gli

uomini come se non fosse un uomo, come mettendosi al posto di non so quale abitante lontano di Sirio per il quale le nostre città non fossero che dei formicai. È il suo mestiere di scienziato che gli dà questo diritto.

La scienza dei costumi sarà anzitutto puramente descrittiva; essa ci farà conoscere i costumi degli uomini e ci dirà quel che sono senza parlarci di quel che dovrebbero essere. Dopo sarà comparativa; ci condurrà nello spazio per farci confrontare fra loro i diversi costumi dei popoli, quelli del selvaggio e quelli dell'uomo civilizzato; e ci condurrà attraverso il tempo per farci confrontare i costumi di ieri con quelli di oggi. Finalmente cercherà di divenire esplicativa ed è questa l'evoluzione naturale di ogni scienza.

I darwinisti cercheranno di spiegarci perché tutti i popoli conosciuti si sottomettono a una legge morale dicendoci che la selezione naturale ha fatto scomparire da molto tempo quelli che erano stati così maldestri da voler cercare di sottrarvisi. Gli psicologhi ci spiegheranno per qual ragione le prescrizioni della morale non sono sempre d'accordo con l'interesse generale. Ci diranno che l'uomo trascinato nel turbine della vita non ha il tempo di riflettere a tutte le conseguenze dei suoi atti; che non può obbedire che a dei precetti generali; che questi saranno tanto meno discussi quanto più semplici saranno, e che basta che s'accordino *il più spesso* possibile con l'interesse generale perché la loro funzione sia utile e che per conseguenza la selezione possa crearli.

Gli storici ci spiegheranno come delle due morali, quella che subordina l'individuo alla società e quella che ha pietà dell'individuo e si propone per scopo la felicità altrui, è la seconda che fa progressi incessanti a misura che le società diventano più vaste, più complesse, e, in fin dei conti, meno esposte alle catastrofi.

Questa scienza dei costumi non è una morale, non sarà mai una morale, ed essa non può rimpiazzare la morale così come un trattato di fisiologia non può rimpiazzare un buon desinare. Ciò che ho detto sin qui mi dispensa dall'insistere.

Ma non si tratta di questo. Essa non è una morale; ma essa può essere utile alla morale, o può essere magari pericolosa per la morale?

Alcuni diranno che spiegare è sempre in certo modo giustificare, e ciò si può facilmente sostenere; altri diranno invece che non è senza pericolo mostrarci che la morale è diversa secondo le razze e le latitudini; che questo ci può insegnare a discutere ciò che deve essere accettato ciecamente, ci può abituare a scorgere la contingenza là dove sarebbe necessario che vedessimo solo la necessità. E forse non hanno tutti i torti. Ma francamente non è questo un esagerare l'influenza che possono avere sugli uomini le teorie a fior di pelle e le astrazioni a cui gli uomini resteranno sempre estranei? Quando certe passioni, le une generose le altre basse, si disputano la nostra coscienza, che peso può avere su di un avversario tanto potente la distinzione metafisica del contingente e del necessario?

Ma non posso passar sotto silenzio un punto importante. La scienza è deterministà; lo è *a priori;* essa postula il determinismo perché senza di esso non potrebbe esistere; è anche deterministà *a posteriori.* Se essa ha cominciato col postulato come una condizione indispensabile della sua esistenza, essa lo dimostra in seguito appunto esistendo e ogni sua conquista è una vittoria del determinismo. Forse una conciliazione è possibile; si può ammettere che quella marcia in avanti del determinismo proseguirà senza soste e senza indietreggiamenti, senza conoscere ostacoli insormontabili, e che ciò nonostante non si ha il diritto di passare al limite, come diciamo noialtri matematici, e concludere per il determinismo assoluto perché, al limite, il determinismo svanirebbe in una tautologia o una contradizione? È un problema che si studia da secoli senza speranza di risolverlo e non posso ora nemmeno sfiorarlo.

Ma noi siamo in presenza di un fatto: la scienza, a torto o a ragione, è deterministà; dove essa penetra fa entrare il determinismo. Finché non si tratta che di fisica o anche di biologia questo non ha importanza; il dominio della coscienza resta in-

violato; ma che succederà il giorno nel quale la morale diverrà a sua volta oggetto di scienza? Essa si impregnerà necessariamente di determinismo e ciò sarà indubbiamente la sua rovina.

Non v'è nessuna speranza? Ovvero: se un giorno la morale dovesse adattarsi al determinismo, potrebbe essa adattarcisi senza morire? Una rivoluzione metafisica così profonda avrebbe senza dubbio sui costumi molto minore influenza di quel che si pensi. È senz'altro stabilito che la repressione penale non è in causa. Ciò che si chiamava delitto e gastigo, si chiamerebbe malattia e profilassi, ma la società conserverebbe intatto il suo diritto che non era quello di punire ma semplicemente quello di difendersi. Ciò che è più grave è che l'idea di merito e di demerito dovrebbe sparire o trasformarsi. Ma si continuerebbe ad amare l'uomo dabbene come si ama tutto ciò che è bello; non si avrebbe più il diritto di odiare l'uomo vizioso il quale non ispirerebbe più che il disgusto. Ma questo è proprio necessario? Basta che non si cessi di odiare il vizio.

A parte questo, tutto andrebbe come nel passato; l'istinto è più forte di tutte le metafisiche, e anche quando si conoscesse il segreto della sua forza, la sua potenza non sarebbe per questo diminuita. La gravitazione è forse meno irresistibile dopo Newton? Le forze morali che ci conducono, continuerebbero a condurci.

E se l'idea di libertà è essa stessa una forza, come ha detto Fouilleé, questa forza sarebbe diminuita appena, quando gli scienziati avessero dimostrato che essa posa soltanto sopra una illusione. Questa illusione è troppo tenace per essere dissipata da qualche ragionamento. Il più intransigente determinista seguiterà a dire nella conversazione di tutti i giorni « io voglio » e anche « io debbo » e seguiterà anche a pensarlo con la parte più potente della sua anima quella che non è cosciente e che non ragiona. È tanto impossibile non agire come un uomo libero quando si agisce, quanto è impossibile di non ragionare come un determinista quando si fa della scienza.

Il fantasma non è dunque così temibile come si dice, e forse

vi sono altre ragioni per non temerlo: si può sperare che nell'assoluto tutto si possa conciliare e che a una intelligenza infinita, i due atteggiamenti, quello dell'uomo che agisce come se fosse libero e quello dell'uomo che pensa come se la libertà non esistesse, possano sembrare egualmente legittimi.

Ci siamo successivamente posti dai diversi punti di vista dai quali si possono osservare i rapporti fra la scienza e la morale; bisogna ora giungere alle conclusioni.

Non c'è e non ci sarà mai morale scientifica nel senso vero della parola, ma la scienza può essere in modo indiretto un ausilio della morale; la scienza largamente intesa non può che servire la morale; soltanto la mezza scienza è temibile; per contro la scienza non può bastare perché non vede che una parte dell'uomo (o, se si preferisce, vede tutto ma vede tutto da un solo angolo visivo) e anche perché bisogna pensare agli spiriti che non sono scientifici.

D'altra parte i timori come le speranze troppo vaste mi sembrano egualmente chimeriche; la morale e la scienza via via che progrediranno sapranno bene adattarsi l'una all'altra.

# INDICE

INTRODUZIONE di *Francesco Severi*

Enrico Poincaré e la sua opera . . . . Pag. 7

ANTOLOGIA

Il valore della scienza . . . . 43
Oggettività della scienza . . . . 49
La scienza è artificiale? . . . . 59
Le matematiche e la logica . . . . 81
Scienza e ipotesi . . . . 93
L'evoluzione delle leggi . . . . 99
La scelta dei fatti . . . . 117
Il caso . . . . 125
Significato delle teorie fisiche . . . . 147
Esperienza e generalizzazione . . . . 157
Unità della natura . . . . 161
Del libero esame in materia scientifica . . . . 167
Compito delle ipotesi . . . . 179
Origine della fisica matematica . . . . 183
L'ipotesi dei *quanti* . . . . 189
La fine della materia . . . . 207
La morale e la scienza . . . . 213